

Mika Keski-Luopa

# KIINTEISTÖKOHTAISEN SÄHKÖN KYSYNNÄNJOUSTON KANNATTAVUUS

Simulaatio aurinkopaneeleiden ja  
energiavaraston avulla

Opinnäytetyö

Energiatekniikka

2020



Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu

Tekijä/Tekijät	Tutkintonimike	Aika
Mika Keski-Luopa	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>  Kiinteistökohtaisen sähkön kysynnänjouston kannattavuus Simulaatio aurinkopaneeleiden ja energiavaraston avulla		53 sivua 8 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>  Päiväkoti Onnenkenkä Oy		
<b>Ohjaaja</b>  Marko Saxell, Merja Mäkelä		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Energia-alalla on käynnissä energiamurros. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi halutaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä vähentää energiatuotannossa ja uusiutuvan energiantuotantoa lisätä. Lisäksi tarvitaan kuluttajien aktivoitumista uusien ympäristöystävällisten energiaratkaisujen suhteen. Näihin kuuluu mm. kiinteistöissä toteutettu pienimuotoinen uusiutuvan energiantuotanto ja tehopiikkien aikaisen energian käytön hetkellinen vähentäminen kysynnänjouston avulla. Sähkön kysynnänjoustoa voidaan suorittaa esimerkiksi ohjattavilla kuormilla tai energiavarastojen avulla.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on simuloida kiinteistössä tuotetun aurinkosähkön ja kysynnänjouston kannattavuutta Päiväkoti Onnenkenkä Oy:ssä. Simulaatiot tehtiin Excel-taulukossa vuoden 2019 todellisen tuntikohtaisen sähkönkulutuksen perusteella. Simulaatioiden tarkoituksena oli selvittää, kuinka suuri osuus valittujen aurinkopaneeleiden sähkön tuotannosta voidaan käyttää kiinteistössä. Simulaatiossa ylijäämäsähkö myytiin yleiseen jakeluverkkoon. Energiavaraston tehtävänä simulaatioissa oli toteuttaa kysynnänjoustoa vähentämällä tehohuippujen aikana ostetun sähkön määrää. Koska simulaatiossa päivittäinen sähkön kokonaiskulutus ei muutu, sähkö siirtyi ostettavaksi kulutushuippujen ulkopuolella. Energiavarasto varastoi myös aurinkopaneeleilla tuotettua ylijäämäsähköä käytettäväksi muina aikoina. Tämän tarkoitus oli nostaa kiinteistössä tuotetun aurinkosähkön omakäyttöosuutta.</p> <p>Simulaation tuloksena saatiin kannattavuuslaskelma valittujen aurinkopaneeleiden ja energiavaraston investointiin. Kannattavuuslaskelman perusteella saatiin selville se takaisinmaksuaika, jonka sisällä investointi maksaa itsensä säästyneillä energiakuluilla. Erikseen arvioitiin myös energiantukien vaikutusta investoinnin kannattavuuteen. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin Päiväkoti Onnenkenkään. Työtä voi käyttää myös välineenä arvioitaessa vastaavia investointeja muiden saman sähkön kulutusprofiilin omaavien kiinteistöjen osalta. Näitä ovat mm. kaikki sähkölämmitteiset palvelu- ja toimistorakennukset, joissa ei käytetä kesällä jäähdytystä.</p>		
<b>Asiasanat</b>  aurinkopaneeli, energiavarasto, kysynnänjousto, simulaatio		

Author (authors)	Degree	Time
Mika Keski-Luopa	Bachelor of Engineering	May 2020
<b>Thesis title</b>		53 pages 8 pages of appendices
Profitability of real estate electricity demand response Simulation with solar panels and energy storage		
<b>Commissioned by</b>		
Päiväkoti Onnenkenkä Oy		
<b>Supervisor</b>		
Marko Saxell, Merja Mäkelä		
<p><b>Abstract</b></p> <p>The energy sector is undergoing major changes. In order to curb climate change, it is desirable to reduce the use of fossil fuels in energy production and increase the production of renewable energy. In addition, there is a need for consumers to direct themselves towards new environmentally friendly energy solutions. These include e.g. small-scale real estate renewable energy production and temporary reduction of energy consumption during power spikes with a demand response. The electricity demand can be responded to for example with controlled loads or energy stores.</p> <p>The aim of this thesis was to simulate the profitability of solar electricity generated on the property and the demand response of electricity in Päiväkoti Onnenkenkä Oy, a kindergarten located in Ori-mattila. The simulations were performed in an Excel-sheet based on the actual electricity consumption in 2019. The purpose of the simulations was to determine the proportion of the electricity generated by the selected solar panels that could be used on the property. In the simulation, the surplus electricity was sold to the public distribution network. The task of the energy warehouse in the simulations was to create flexibility to the demand by reducing the amount of electricity purchased during peak hours. Because in the simulation the total daily electricity consumption did not change, the electricity purchases were shifted outside of peak consumption hours. The energy storage also stores the surplus electricity produced by solar panels to be used at other times. The purpose of this is to increase the share of self-produced of solar electricity in the property.</p> <p>The simulation resulted in a profitability calculation for the selected solar panels and energy storage investment. Based on the profitability calculation, the payback time was defined within which the investment pays for itself with the saved energy costs. The impact of energy subsidies on the profitability of the investment was also assessed separately. The thesis was focused on Päiväkoti On-nenkenkä. However, it can also be used as a reference when assessing similar investments to other real estates with the same electricity consumption profile. These include e.g. all electrically heated service and office buildings where no cooling machinery is used in the summer.</p>		
<b>Keywords</b>		
demand response, energy storage, simulation, solar panel		

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	KUVAUS NYKYISESTÄ SÄHKÖNSIIRTO- JA ENERGIAKAUPASTA.....	8
2.1	Sähkön tuotanto .....	8
2.2	Verkkoliiketoiminta.....	8
2.1	Sähkönsiirron ja tuotannon tulevaisuus .....	12
3	KYSYNNÄNJOUSTO .....	16
3.1	Kysynnänjouston hyödyntäminen sähkömarkkinoilla .....	20
3.2	Kysynnänjouston hyödyntäminen reservimarkkinoilla .....	21
3.3	Kysynnänjouston tulevaisuus .....	23
4	ENERGIAKATSELMUS PÄIVÄKOTI ONNENKENGÄSSÄ.....	26
4.1	Energian kulutus ja tariffit .....	26
4.2	Kuukausikulutus ja huipputeho .....	28
4.3	Lämmitysjärjestelmän muutokset energiakatselmuksen perusteella .....	29
4.4	Energiakatselmuksen näkökannan laajentaminen .....	30
5	SÄHKÖN KYSYNNÄNJOUSTON SIMULAATIO SUORAN SÄHKÖLÄMMITYKSEN KIINTEISTÖISSÄ .....	32
5.1	Simulaation toteutus .....	33
5.2	Simulaatiot .....	36
5.2.1	Simulaatio 5,7 kWp:n aurinkopaneeleilla .....	37
5.2.2	Simulaatio 10,26 kWp:n aurinkopaneeleilla .....	39
5.2.3	Simulaatio 5,7 kWp:n aurinkopaneeleilla ja 14 kWh:n energiavarastolla .....	41
5.2.4	Simulaatio 10,26 kWp:n aurinkopaneeleilla ja 14 kWh:n energiavarastolla ....	44
5.3	Energiatukien vaikutus energiainvestointien kannattavuuteen .....	46
5.4	Kysynnänjouston kehittymisen edellytykset kohdekiinteistössä .....	48
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	52
	LÄHTEET .....	54
	KUVALUETTELO	

## TAULUKKOLUETTELO

### LIITTEET

Liite 1. Energiakatselmusraportti

Liite 2. Simulaatit 1-4

## 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen torjunnan aiheuttama globaali energiamurros on meneillään. Se on haaste nykyiselle energiapolitiikalle. Jotta päästäisiin riittäviin päästövähennyksiin tarvitsemme merkittäviä rakenteellisia muutoksia. Muutokset muuttavat nykyisten markkinaosapuolien toimintaa energiamarkkinoilla. Niiden pitää mahdollistaa kuluttajan osallistumisen energiamarkkinoille uusiutuvan energian pientuottajina ja kysyntäjouston avulla (Hyysalo ym. 2017, 10).

Välttämättömän muutoksen esteenä on Suomen energiastrategioita laadittaessa tehty oletus siitä, että kehitys ei etene hyppäyksellisesti, joten ilmastonmuutokseen pystytään vastaamaan aiempien teknologisten polkujen avulla (Hyysalo ym. 2017, 17). Nykyiset energiasektorin toimijat toivovat hiilentalteenottotekniikasta (Carbon Capture and Storage CCS) ratkaisua päästövähennyksiin. Tämä on ymmärrettävää, sillä CCS-tekniikan käyttö jokaisessa voimalaitoksessa mahdollistaisi energiantuotannon jatkumisen nykyisten toimijoiden hallinnassa. Sitran johtavan asiantuntijan Anu Männyn (2019) mukaan Sitran laskelmissa ei olla laskettu CCS-tekniikan varaan, sillä sen kehittyminen on epävarmaa (Ikävalko 2019). Pitää olla realistisi ja ottaa kaikki arkiset muutokset käyttöön, vaikka saisimme hiilen talteenotossa merkittäviä edistysaskelia.

Energia-alalla vallitsee seitsemän merkittävää muutoksen ajuria. Ilmastonmuutoksen hillintään liittyvä ajuri merkitsee sitä, että energiakysymykset koskettavat yhä laajempia yhteiskunnan osia. Kaupungistumisen ja kaupunkien nousevan roolin ajuri näkyy taajamien ja liikenteen kehittämisessä. Vähähiilisten energiateknologioiden ajuri näyttää, että kasvihuonepäästöjen päästövähennykset eivät ole enää välttämättä taloudellinen uhraus. Energiajärjestelmän digitalisoitumisen ajuri mahdollistaa älykkään kulutuksen ja hajautetun pientuotannon. Kansalaisten aktiivisuuden ajurin mukaan yhä suurempi joukko kuluttajia haluaa vaikuttaa ja kykenee tekemään omia ratkaisuja energiankulutuksessa ja energiantuotannossa. Uusien liiketoimintamallien ajuri kytkee edelliset ajurit yhteen. (Hyysalo ym. 2017, 16.)

Energia-alan muutoksen ajurit liittyvät mm. teknologian kehittymiseen, kuluttajien aktivoitumiseen omien energiaratkaisujen suhteen ja pientuotannon lisääntymiseen. Nykyinen energiassektori taas haluaa energiantuotannon pysyvän heidän hallussaan ja päästövähennysten tapahtuvan heidän omistamansa teknologian sekä sen kehityksen ehdoilla. Päätökset nykyisen energiapolitiikan muuttamiseksi ovat näiden kahden intressin vastakkaisten tavoitteiden takia vaikeita ja päätöksenteko hidasta.

Mallinnuksen mukaan asuminen ja energia muodostivat 33 % suomalaisten hiilijalanjäljestä vuonna 2016 (Katriina ym. 2019, 40). Kotitalouksien kulutuksen päästöt ovat yli viisinkertaiset julkisen sektorin päästöihin verrattuna ja yli kolminkertaiset verrattuna investointien päästöihin (Katriina ym. 2019, 49). Kuluttajien omalla käyttäytymisellä kulutuksen määrän, kulutuksen ajankohdan ja oman uusiutuvan energiantuotannon suhteen on suuri merkitys ilmastonmuutoksen torjunnalle.

Tässä lopputyössä keskitytään tutkimaan, onko mahdollista toteuttaa kannattavasti sähkön kysynnänjoustoa ja uusiutuvaa energiantuotantoa suoran sähkölämmityksen rakennuksissa erillisen energiavaraston avulla. Rakennusesimerkkinä on 210 neliömetrin kiinteistö, joka toimii päiväkotina. Kiinteistö on rakennettu paritalon rakennuspiirustuksilla ja näin se voi toimia referenssinä sekä asuinkiinteistön että palvelurakennuksen osalta.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään ensiksi sähkönsiirron- ja energiakaupan toiminnan pelisääntöihin. Seuraavaksi perehdytään sähkönsiirron ja sähköntuotannon tulevaisuuteen. Kolmanneksi perehdytään sähkön kysynnänjoustoon.

## **2 KUVAUS NYKYISESTÄ SÄHKÖNSIIRTO- JA ENERGIAKAUPASTA**

Sähkön kokonaishinta muodostuu sähkön myyjälle maksettavasta energiamaksusta, verkkoyhtiölle maksettavasta siirtomaksusta, sähköverosta, arvonlisäverosta 24 % ja huoltovarmuusmaksusta. Sähkön siirtomaksu koostuu perusmaksusta ja energiamaksusta. Suurilla asiakkailla lisäksi tulevat teho- ja loistehomaksut. Myös pienasiakkaiden siirtomaksuihin on kehitteillä tehomaksuja. (Partanen 2018,12-14.)

### **2.1 Sähkön tuotanto**

Sähköjärjestelmässä tuotannon ja kulutuksen on oltava aina yhtä suuret, jotta verkon taajuus pysyisi vakiona. Perinteisissä järjestelmissä tuotanto on seurannut kulutusta. Vaihtelevaan kulutukseen sopeudutaan perinteisissä sähkö-energiajärjestelmissä tuotantoa säätämällä vesivoima- ja lauhdevoimalaitosten avulla. (Järventausta ym. 2015, 16.)

Tulevaisuudessa yhä suurempi osa sähköntuotannosta on ydinvoimaa, aurinkovoimaa ja tuulivoimaa. Niiden käytön kustannukset ovat samat riippumatta niiden tuotantotehosta. Siksi ydinvoimaa ei kannata ajaa nimellistehoa pienemmällä teholla ja aurinko- ja tuulivoimaloiden kannattaa antaa tuottaa sähköä luonnon olosuhteiden mukaan ilman sähköntuotannon keinotekoisia rajoittamista. Tulevaisuudessa sähkönkulutuksen tulisikin seurata sähköntuotantoa (Järventausta ym. 2015, 16).

### **2.2 Verkkoliiketoiminta**

Verkkoliiketoiminta muodostaa alueellisen monopolin, jota kilpailun puuttuessa pyritään säädöksiin tekemään toiminnan tehokkuuteen ja laatuun kannustavaksi sekä tarpeen mukaan pakottavaksi. Sähkömarkkina-alueissa määrätään, että Suomessa noudatetaan etäisyydestä riippumatonta hinnoittelua. Sähkönkäyttäjää pitää kohdella tasaveroisesti, eikä siirtomaksu saa riippua asiakkaan sijainnista verkkoyhtiön verkossa. (Partanen 2018, 37-38.)

Suomessa on harvoja liiketoiminta-alueita, joissa hyväksytään monopolit. Verkkoliiketoiminnan alueelliset monopolit on kuitenkin koettu kustannuste-



hokkaasti tavaksi siirtää sähköä tuottajalta asiakkaalle. Monopolin takia alueella ei ole rakennettu monen eri siirtoyhtiön siirtoverkkoja, joten verkon rakennus- ja ylläpitokustannukset jakaantuvat kaikille verkon alueella oleville potentiaalisille asiakkaille.

Siirtomaksuissa on merkittäviä eroja verkkoyhtiöiden kesken. Tämä johtuu verkkoyhtiöiden toiminta-alueiden eroista. Niissä on erilainen väestötiheys ja verkkorakenne. Haasteellisinta siirtohintojen suhteen on haja-asutusalueilla, joissa verkon pituus asiakasta kohden on suuri. Haja-asutusalueilla käytetyt ilmajohtot ovat myös herkimpiä myrskyistä johtuville sähkökatkoksisille. (Partanen 2018, 16-18.)

Ilmastonmuutos aiheuttaa epätyypillisiä sääolosuhteita ja äkillisiä luonnonilmiöitä. Nämä aiheuttavat sähkökatkoksia, varsinkin sellaisille alueille, joissa käytetään ilmajohtoja. Sähkökatkokset aiheuttavat haittaa ja kustannuksia sekä alueen asukkaille että yrityksille. Myrskyjen aiheuttamat sähkökatkokset aiheuttavat korjauskustannuksia verkkoyhtiöille. Nykylainsäädännön mukaan verkkoyhtiöt joutuvat myös maksamaan korvauksia asiakkailleen pitkistä sähkökatkoksista.

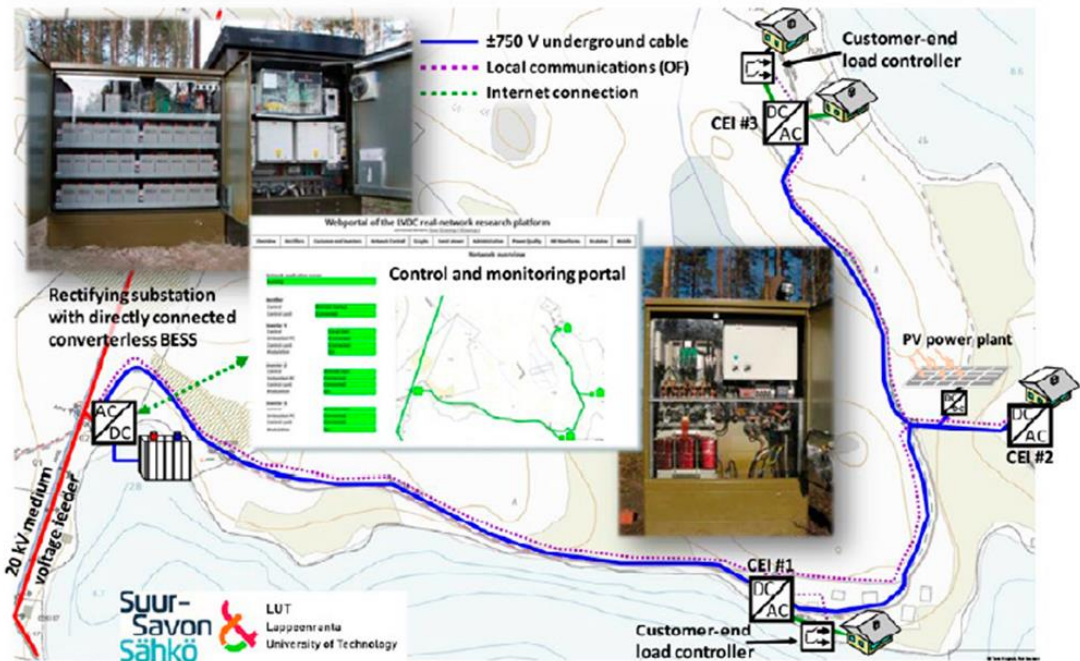
Vuosina 2001 Janika- ja Pyry-, 2002 Unto-, 2010 Asta- ja Veera- sekä 2011 Tapani- ja Hannu-myrskyt aiheuttivat laajoja sähkökatkoksia. Pisimmät sähkökatkokset aiheutti Asta, pituudeltaan yli kuukauden ja laajimmat sähkökatkokset Tapani, koskien 400 000 sähkönkäyttäjää. Vuonna 2003 otettiin Sähkömarkkinalaissa käyttöön pitkien sähkökatkosten korvaukset. Vuonna 2013 Eduskunta päätti, että suomalainen yhteiskunta ei jatkossa siedä pitkiä sähkökatkoksia. Siirtymäajaksi määriteltiin vuoden 2028 loppu. Vuonna 2017 Sähkömarkkinalakiin tehtiin kuitenkin muutos, joka mahdollisti erityisen painavista syistä toimitusvarmuuden tavoiteaikatauluksi maksimissaan vuoden 2036. (Partanen 2018, 19.)

Verkkoyhtiöiden normaalit investointitarpeet muodostuvat verkkokomponenttien ikääntymisestä, uusien asiakkaiden ja tehon käytön nousun kasvusta ja verkkojen tavanomaisen käyttövarmuuden parantamisesta. Sähkömarkkinalaissa mainittujen toimitusvarmuusvaatimusten täyttäminen edellyttää myös

huomattavia lisäinvestointeja, kun muuten toimintakuntoisia verkkokomponentteja on uusittava nopeutetusti myrsky- ja lumikuormavarmuiksi. Investoinneilla pyritään saamaan mahdollisimman paljon asiakkaita vähin kustannuksin toimitusvarmuusvaatimusten piiriin. Tämä on tarkoittanut sitä, että investoinnit ovat kohdistuneet alkuvaiheessa taajamiin. Toimitusvarmuusvaatimukset aiheuttavat verkkoyhtiöille yhteensä noin 2,9 miljardin euron lisäinvestointitarpeen vuoteen 2028 mennessä. (Partanen 2018, 23-25, 34.)

Toimitusvarmuusvaatimukset nostavat verkkoyhtiöiden vuosittaisia kustannuksia. Ilmajohdon korvaaminen maajohdoilla on kallista. Verkkoyhtiöillä ei ole muuta mahdollisuutta kuin siirtää nämä kustannukset suoraan asiakashintoihin. On asiakkaan ja verkkoyhtiön etu, että toimitusvarmuusvaatimuksien täyttämiseksi kehitetään myös muita ratkaisuja.

Sen lisäksi että verkkoyhtiö korvaa ilmajohdot maajohdoilla, se voi uusilla menetelmillä täydentää erityisesti haja-asutusalueiden toimintavarmuutta. Tässä yhteydessä viitataan Smart Grid -teknologioihin, joilla tarkoitetaan tasasähköjärjestelmien, energiavarastojen ja kulutusjoustopon käyttömahdollisuuksia verkon vikatilanteessa. Uusien menetelmien tarkoituksena on vähentää keski- ja pienjänniteverkossa tarvittavia investointeja käyttämällä vaihtoehtoisia menetelmiä. (Partanen 2018, 55-56.)



Kuva 1. LUT:n ja Järvi-Suomen Energia Oy:n tutkimushankkeessa LVDC-tasasähköjärjestelmä. Järjestelmä toimii mikroverkkona vikatilanteissa akkuvaraston, paikallisen tuotannon ja kuormien ohjauksen avulla. (Partanen J. 2018, 56)

Kuvassa 1 on LUT:n ja Järvi-Suomen Energia Oy:n tutkimushankkeessa toteutettu pienjännitteinen tasasähköjakelujärjestelmä. Järjestelmä on toiminut jo vuosia ja siihen on liitetty paikallista tuotantoa aurinkosähkön muodossa, 60 kWh:n akkuvarasto ja kulutusjoustokomponenttina toimivaa lämmitystä. Sähköjärjestelmä on toiminut jo lukuisia kertoja mikroverkkona sellaisissa tilanteissa, joissa verkkoa syöttävässä korkeajännitejohdossa on ollut vikatilanne. Kyseessä oleva verkko on myrsky- ja lumikuormavarma ja omavarainen mikroverkkotoiminta. Se on osa koko järjestelmän toimitusvarmuutta. Verkko kykenee toimimaan kesäaikaan itsenäisesti kesäaikaan vuorokausia akkuvaraston, paikallisen tuotannon ja kuormien ohjauksen ansiosta. Talvella verkko voi toimia itsenäisesti useita tunteja antaen lisää aikaa vikojen korjaukseen haja-asutusalueille toimitusvarmuuteen määritellyn 36 tunnin korjausajan puitteissa. (Partanen 2018, 56.)

Edellä kuvattu ja muutkin uudet teknologiat tarjoavat vaihtoehtoja toimitusvarmuuden saavuttamiseksi etenkin haja-asutusalueilla. Ratkaisujen yleistymisen esteenä on eri säädöksiin liittyviä haasteita ja esteitä. Partanen (2018, 57-58) ehdottaa niiden purkamista seuraavalla tavalla:

- Akkuvarastojen käyttöön tulisi osana verkkoyhtiön toimintamallia tulisi luoda kannusteita sanktioiden sijaan. Tämän voisi ratkaista hyväksymällä käyttövarmuuden varmistamiseksi käytettävien energiavarastojen ja varavoimakoneiden käyttö osana varmuuskannustinta.
- Osalla sähkönkäyttäjistä, joiden prosessit ovat erittäin haavoittuvia sähkökatkosten suhteen, on jo olemassa omin investoinnein varmistettu käyttövarmuus. Säädösten tulisi sallia ja kannustaa toimintamalliin, jossa verkkoyhtiö voisi ostaa toimitusvarmuuden asiakkaalta itseltään tai hänen edustajaltaan. Tilanteessa, jossa palvelu edellyttää verkkoyhtiön verkon käyttöä, verkkoyhtiö edelleen operoi omistamaansa verkkoa, mutta se toimii tässä tapauksessa mikroverkkona.
- Verkkoyhtiöillä on uusien asiakkaiden liittämisvelvoite. Verkkoyhtiö ei voi kuitenkaan irtisanoa liittymää, vaikka siinä ei ole ollut käyttöä vuosiin. Näissä tapauksissa verkkoyhtiöillä tulisi olla oikeus irtisanoa liittymä, sillä tyhjänä käyvä johto vikaantumismahdollisuuksineen heikentää myös muiden sähkönkäyttäjien käyttövarmuutta.

## 2.1 Sähkönsiirron ja tuotannon tulevaisuus

Tekniikan tohtori Juha Korpijärven (2015) mukaan nykyisin sähköverkon toiminnassa on ollut kolme osapuolta: sähköön tuottaja, sähköön siirtäjä ja kuluttaja. Verkko on ollut yksisuuntainen siirtäen sähköä tuottajalta kuluttajalle mutta esimerkiksi Saksassa kuluttajat ovat syöttäneet jo pitkään sähköä verkkoon päin. Kaksisuuntaisessa älykkäässä sähköverkossa siirtyy myös tietoa. Älykäs sähköverkko mahdollistaa myös sähköön varastoinnin. Verkko on mahdollista jakaa pieniin mikroverkkoihin, jotka toimivat omina saarekkeinaan. Mikroverkko mahdollistaa sähköön saannin, vaikka naapuriverkko olisi jostakin syystä kaatunut. (Korpijärvi 2015.)

Sähköön kuluttajat eivät ole tyytyväisiä nykyiseen tilanteeseen. Kuluttajat pitävät monopoliasemassa olevia verkkoyhtiöitäahasampoina, joiden hinnoittelun kuluttajat eivät pysty vaikuttamaan. Kuluttajat eivät myöskään ymmärrä, eivätkä hyväksy verkkoyhtiöiden kymmenien prosenttien siirtomaksujen korotuksia. Kuluttajien mieleen on pysyvästi jäänyt Carunan vuonna 2016 tekemä vajaan kolmanneksen siirtohintojen korotus. Osa kansalaisista, kaupungeista

ja yrityksistä miettiikin keinoja, joilla ne pystyisivät pääsemään irti kokemastaan epäoikeudenmukaisuudesta verkkoyhtiöiden hinnoittelussa.

Esimerkiksi Kalajoki on tuulivoiman suurtuottaja-alue. Se haluaisi tarjota asukkaalleen ja yrityksilleen edullisempaa sähköä. Kaupungissa tuotetaan neljä kertaa enemmän sähköä kuin siellä käytetään. Siksi Kalajoki onkin alkanut miettimään omaa sähköverkkoa. Samoilla linjoilla on Lempäälä, jonka omistama Lempäälän Energia on tarvittaessa rakentamassa täysin omavaraista sähköverkkoa. Lempäälän sähköntuotanto nojaisi Lempäälän Ideaparkin viereen pysytettyihin kahteen suureen aurinkopaneelikenttään ja niitä tukevaan bioenergian tuotantoon. (Holopainen 2019.)

Sähköverkolle tarvittaisiin kuitenkin Energiaviraston lupa. Kullakin alueella voi Suomen lainsäädännön mukaan olla vain yksi verkkoyhtiö. Monopoliajattelu perustuu siihen, että myös syrjäseutujen asukkaat saavat sähköä samaan hintaan kuin taajaman asukkaat. Jos monopoli purkautuu, niin riskinä on, että joissakin paikoissa kukaan ei ole kiinnostunut rakentamaan ja ylläpitämään sähköverkkoa. (Holopainen 2019.)

Koska omaa siirtoverkkoa ei voida rakentaa, Lempäälä miettii keinoja perustaa energiayhteisö. Ne eivät olisi varsinaisia jakeluverkkoja, vaikka tuottavatkin sähköä jäsenilleen. Koska erillistä sähkönjakeluverkkoa ei lain mukaan voi rakentaa, verkon olisi oltava yhteydessä alueelliseen siirtoverkkoon. (Holopainen 2019.)

Kesäkuun 5. päivänä 2019 tuli voimaan EU:n direktiivi, jossa otetaan kantaa mm. energiayhteisöihin. Direktiivi mahdollistaa energiayhteisöjen perustamisen. Direktiivissä todetaan energiayhteisöistä mm. seuraavaa:

- Direktiivin tarkoitus on varmistaa kansalaisten energiayhteisön mahdollistava viitekehys, oikeudenmukainen kohtelu, tasapuoliset toimintaedellytykset sekä määritelty oikeuksien ja velvoitteiden luettelo.
- Direktiivissä kerrotaan energiayhteisöjen olevan avoinna kaikentyyppisille toimijoille. Kansalaisten energiayhteisöissä päätösvallan tulee kuitenkin olla vain niillä jäsenillä tai osakkailla, jotka eivät harjoita laajamittaista kaupallista toimintaa ja joiden taloudellinen toiminta ei ole ensisijaisesti energia-alalla.

- Yhteisöenergia tarjoaa kaikille kuluttajille vaihtoehdon osallistua suoraan energian tuottamiseen, kuluttamiseen ja jakamiseen tuottaen kohtuuhintaista energiaa jäsenilleen. Yhteisöt eivät keskity tuottamaan voittoa perinteisten sähköalan yritysten tavoin. (Sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä 2019/944/EU 2019.)

Direktiivi siis mahdollistaa energiayhteisöjen perustamisen. Yhteisöissä pitää kuitenkin olla useita jäseniä. Yksittäisen kuluttajan tai yrityksen on siis löydettävä energiayhteisö ja liityttävä siihen. Energiayhteisöjä ei kuitenkaan perusteta kaikkialle ja siksi yhteisöjen kautta toimiminen ei voi olla kuluttajan ainoa tapa osallistua energiamarkkinoille. Direktiivissä todetaan kysynnänjoustosta mm. seuraavaa:

- Tavoiteltaessa joustoa on kuluttajan merkitys keskeinen ja terve kilpailu vähittäismarkkinoilla on välttämätöntä, jotta voidaan varmistaa kuluttajien muuttuvat tarpeet huomioiva innovatiivisten uusien palvelujen markkinalähtöinen käyttöönotto ja annetaan kuluttajille mahdollisuus osallistua aktiivisesti energiamarkkinoille.
- Jäsenvaltioiden ja sääntelyviranomaisten on kilpailun edistämiseksi ja hinnoiltaan kilpailukykyisten sähkötoimitusten varmistamiseksi helpotettava eri energialähteitä hyödyntävien uusien sähköntoimittajien, uuden tuotannon, energian varastoinnin ja kulutusjouston tarjoajien pääsyä verkkoihin.
- Kaikilla asiakasryhmillä on oltava mahdollista käydä kauppaa kulutusjoustollaan ja itse tuottamallaan sähköllä.
- Asiakkaiden on saatava hyödyntää kaikki edut, joita on saatavilla tuotannon ja toimitusten yhdistämisestä, eli aggregoinnista.
- Aggregointia harjoittavat osapuolet ovat tärkeässä roolissa välittäjänä asiakasryhmien sekä markkinoiden välillä. Jäsenvaltioiden on luotava aggregointiin sellainen toimintamalli, joka sisältää avoimet ja oikeudenmukaiset säännöt, joiden perusteella riippumattomat aggregaattorit voivat suorittaa tehtävänsä välittäjänä varmistaen loppuasiakkaan hyötymisen aggregoinnista. (Sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä 2019/944/EU 2019.)

Useat yksityishenkilöt ja taloyhtiöt eivät ole jääneet odottamaan markkinoiden muuttumista ja poliittisia päätöksiä. Nämä ovat tehneet energiajärjestelmän muutoksia omaehtoisesti ja kannattavasti vähentääkseen hiilidioksidipäästöjään. Samalla energian kustannukset ovat laskeneet ja imago on noussut. Hiilineutraalisuus on yleensä asia, johon pyritään, mutta myös hiilinegatiivisuus on jo nyt mahdollista toteuttaa taloudellisesti kannattavasti.

Asunto Oy Kotivalkama vaihtoi kaukolämmön maalämpöön, hankki sen lisäksi lämmön talteenoton ja aurinkopaneeleita. Taloyhtiön energiankustannukset vähenivät 24 000 €/vuosi. Tällä tavalla taloyhtiö nosti imagoaan, josta puolestaan seurasi, että taloyhtiön asuntojen hinnat kohosivat muun Lappeenrannan yläpuolelle. Taloyhtiö arvioi maksavansa energiaremontin takaisin säästöillä kuudessa vuodessa. (Tanskanen 2020.)

Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20 on vuodesta 2010 lähtien panostanut energiatehokkuuteen. Nykyisin lämmityksen ja sähkönkulutuksen päästöt ovat laskeneet negatiiviseen -24 hiilidioksiditonniin. Lisäksi taloyhtiön arvo on noussut ja hoitovastike on pudonnut vuoden 2010 tasosta 2,60 euroa neliömetriltä tasoon 1,98 euroa neliömetriltä vuonna 2019. (Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20 kuukauden päästövähentäjä 2019.)

Näissä edellisissä esimerkeissä yhteistä ovat taloyhtiön aktiivisuus, muutoksen taloudellinen kannattavuus ja taloyhtiön arvonnousu. Kansalaisten ja yritysten aktiivisesta toiminnasta löytyy paljon hyviä esimerkkejä ilmastomuutoksen pysäyttämiseksi tehdyistä parannuksista. Voimassa oleva lainsäädäntö ja perinteisten toimijoiden vastustus kuitenkin hidastaa tätä muutosta.

Suomen on siis muutettava direktiivin 2019/944/EU mukaisesti lainsäädäntöään siten että kaikkien asiakkaiden on jatkossa pystyttävä myymään tuottaamaansa sähköä ja kulutusjoustoja. Koska sähkön- ja kulutusjouston määrä voi yhdellä asiakkaalla olla hyvin pieni, niin markkinoiden ja asiakkaan välissä voi olla aggregaattori, joka yhdistää usean pienen asiakkaan tuotannon suuremmaksi toimitukseksi. Aggregaattorina voi toimia myös sähkön varastointia harjoittava osapuoli.

### 3 KYSYNNÄNJOUSTO

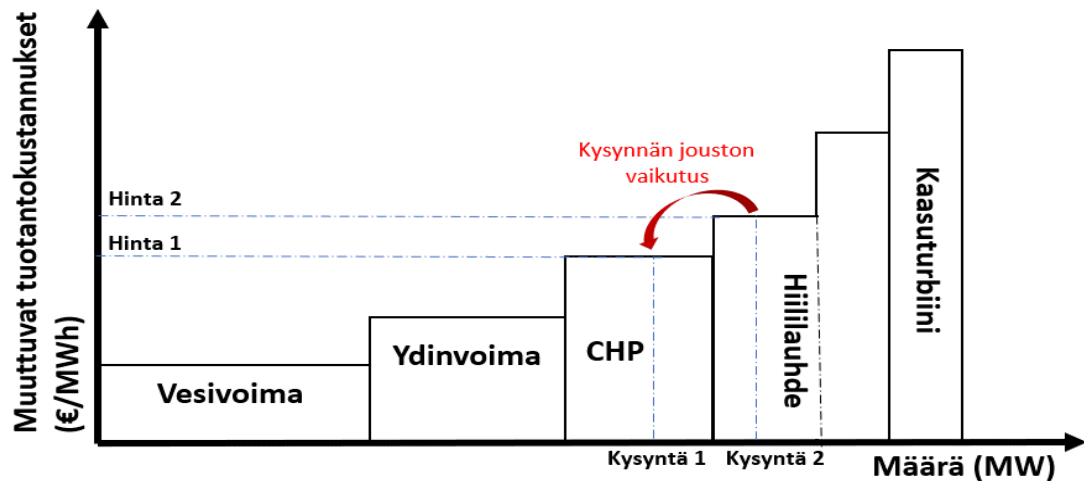
Suomessa sähköä tuotettiin vuonna 2018 87,5 GWh, josta nettotuonnin osuus oli 19,9 GWh ja lämpöä tuotettiin 93,7 GWh, josta kaukolämmön osuus oli 38,5 GWh ja teollisuuslämmön osuus oli 55 GWh (Suomen virallinen tilasto 2018). Kysynnänjousto koskee lämmön ja sähkön kulutusta. Tämä opinnäyte-työ keskittyy vain sähkön kysynnänjousto.

Sähköjärjestelmässä tuotannon ja kulutuksen on oltava aina yhtä suuret ja perinteisesti sähköntuotanto on seurannut sähkön kulutusta (Järventausta ym. 2015, 16). Tulevaisuudessa yhä suurempi osa sähköntuotannosta on ydinvoimaa, aurinkovoimaa ja tuulivoimaa. Niiden käytön kustannukset ovat samat riippumatta niiden tuotantotehosta. Siksi ydinvoimaa ei kannata ajaa nimellistehoa pienemmällä teholla ja aurinko- ja tuulivoimaloiden kannattaa antaa tuottaa sähköä luonnon olosuhteiden mukaan ilman sähköntuotannon keinote-koista rajoittamista.

Sähkönkulutuksen tulisikin jatkossa seurata sähköntuotantoa. Joustavasti ohjattava kuormitus muodostaa tuntitason tehotasapainon hallinnan lisäksi potentiaalia myös sähköenergiajärjestelmän erilaisille voimareserveille. Tehotasapainon hallitsemiseksi tarvittaisiinkin kysynnän joustoa ja erilaisia energia-varastoja. (Järventausta ym. 2015, 16.)

Kysynnän jousto tarkoittaa kulutuksen hetkellistä vähentämistä. Rakennukset ovat tärkeä kulutusjouston kohde, sillä 40 % kaikesta sähkönkulutuksesta liittyy rakennuksiin. Hyödyntämistä kuitenkin rajoittaa se, että nykyiset markkina-paikat eivät mahdollista pienten säätösähköerien kauppaa, joten pienet toimi-jat eivät voi osallistua kaupankäyntiin. (Sähkön kulutusjouston tarve kasvaa 2019)





Kuva 2. Sähkön tuntihinnan määräytyminen tukkumarkkinoilla muuttuvien tuotantokustannusten mukaisesti. Hinta määräytyy kysynnän ja kalleimman käytössä olevan sähkön tuotantomuodon mukaan. (Kuva mukaillen Järventausta ym. 2015, 17)

Kuvassa 2 (Järventausta ym. 2015, 17) esitellään sähköenergian tukkuhinnan määräytyminen markkinoilla. Tehohuippujen aikaan sähköenergian hinta pyrkii nousemaan, sillä kunkin tunnin sähkönhinta määräytyy kalleimman käytössä olevan tuotantomuodon mukaan (Järventausta ym. 2015, 3). Ilman kysynnänjoustoa asiakas ei siis itse voi vaikuttaa sähköstä maksamaansa tuntihintaan. Kysynnänjousto voi pudottaa tukkusähkön hintaa, kun kysyntä vähenee kuvan osoittamalla tavalla.

Kysynnänjouston avulla sähkönkulutusta voidaan siirtää tehohuippuja edullisempiin ajankohtiin. Kysynnänjousto sisältää joukon erilaisia toimintoja, joten sen hyödyntäminen edellyttää eri toimijoiden välistä yhteistyötä. Näiden toimintojen merkitys, tarve ja ansaintalogiikka vaihtelevat eri toimijoiden näkökulmasta seuraavasti (Järventausta ym. 2015, 3):

- Kantaverkkoyhtiölle kysynnän jousto mahdollistaa tehotasapainon hallinnan, taajuuden säädön käyttö- ja häiriöreservien osalta sekä tarjoaa joustavuutta tehopulatilanteissa.
- Sähkön vähittäismyyjälle kysynnän jousto tarjoaa joustoa hankinnan suunnittelussa, taseen hallinnan elementtinä, säätösähkömarkkinoiden tarjouksissa sekä uusien tuotteiden ja oman liiketoiminnan kehittämisessä.
- Jakeluverkkoyhtiö voi hyödyntää kysynnän joustoa pitkän aikavälin verkon suunnittelussa ja poikkeustilanteiden aikaisen huipputehon hallinnassa.

- Loppukäyttäjälle kysynnän jousto mahdollistaa sähkön käytön edullisen hinnan aikana, ostosähkön vähentämisen, huipputehon pienentämisen, liittymäkoon rajoittamisen ja oman pientuotannon täysimääräisen hyödyntämisen.
- Palvelun tarjoajille sekä laite- ja järjestelmätoimittajille kysynnän jousto tarjoaa uusia tuote- ja liiketoimintamahdollisuuksia. Kuormia aggregoiva jousto-operaattori on yksi näistä liiketoimintamahdollisuuksista.

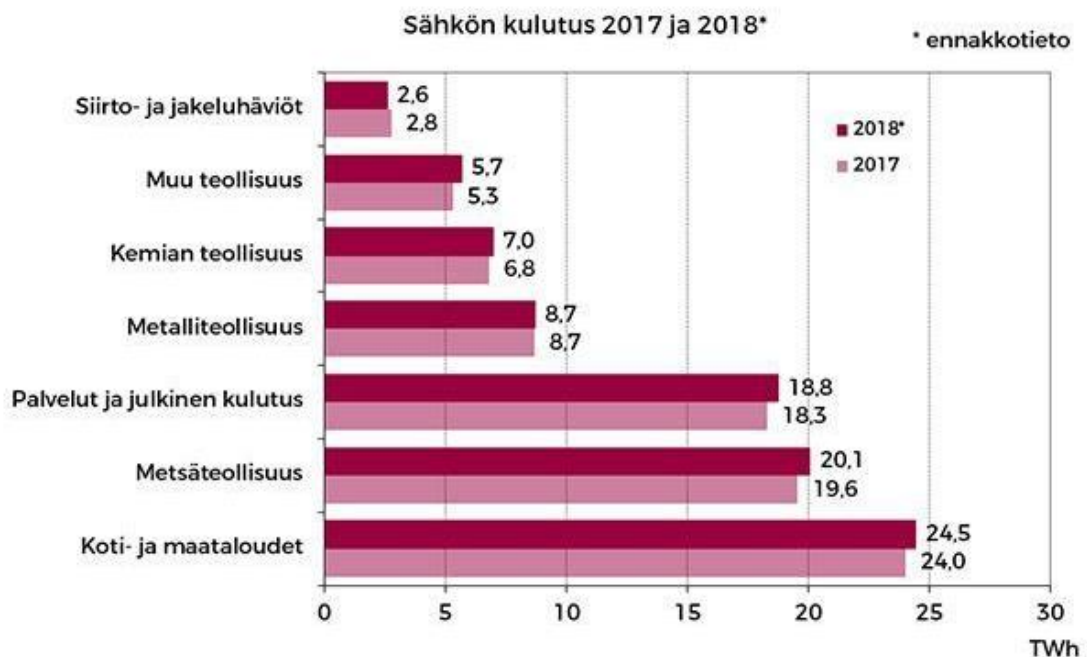
Kysynnänjouston laajassa hyödyntämisessä keskeisintä on muodostaa kokonaisvaltainen käsitys sen toiminnallisuudesta, eri toimijoiden ristikkäisistä rooleista, kaikkien toimijoiden liiketoimintaa tukevista toimintamalleista ja tiedon siirtorajapintojen yhteensovittamisesta. Lisäksi olisi kehitettävä kysynnänjousto mahdollistavaa lainsäädäntöä, kysynnänjouston ansaintalogiikkaa sekä parantaa asiakkaiden ymmärrystä. Asiakkaille tulee myös tarjota kannusteita kysynnänjousto osallistumiseen. Taloudellisten hyötyjen lisäksi voidaan houkuttavuutta lisätä korostamalla kysynnänjouston merkitystä järjestelmän käyttövarmuudelle ja uusiutuvan energiantuotannolle. (Järventausta ym. 2015, 18.)

Taulukko 1. Rakennuskannan keskimääräinen sähkötehon tarve lämmityskaudella. Lämmityskaudella keskimääräinen ulkolämpötila on 0 °C. (Järventausta ym. 2015, 27)

Rakennuksen keskimääräinen sähkötehon tarvearvio 0 °C ulkolämpötilalla (keskimääräinen ulkolämpötila lämmityskaudella). Lähde: TEHOREM- mallin kehitysversio	Tilojen sähkölämmitys	Lämmin käyttövesi	Toimintasähkö	Valaistus-sähkö	Talotekniikka	Yhteensä
	MW	MW	MW	MW	MW	MW
Omakotitalot	1379	193	609	118	137	2436
Rivitalot	207	28	131	26	28	420
Asuinkerrostalot	30	4	333	71	108	546
Yksityiset palvelurakennukset	183	23	264	267	148	885
Julkiset palvelurakennukset	61	6	147	151	91	457
Tuotantorakennukset	317	32	846	363	304	1863
Vapaa-ajan rakennukset	130	2	31	9	9	182
Asuinrakennukset yhteensä	1616	225	1074	215	273	3402
Asuin- ja palvelurakennukset yhteensä	1859	254	1485	633	512	4743
Kaikki rakennukset yhteensä	2306	288	2363	1004	825	6788

Taulukossa 1 on arvioitu rakennuskannan sähkötehon tarvetta energiankulutukseen perustuvan tarkastelun pohjalta 0 °C:n ulkolämpötilalla, joka on keskimääräinen ulkolämpötila lämmityskaudella. Tuotantorakennusten osuus ei sisällä tehtaan tuotantoa ja on siten taulukossa epävarmin kohde. Energiakulutustaslaskelmiin perustuvien teholaskelmien perusteella rakennuskannan viikko-keskitaso muuttuu lämmityskaudella siten, että se on noin 100 MW yhtä ulkolämpötila-asteen muutosta kohti. (Järventausta ym. 2015, 26-27.)

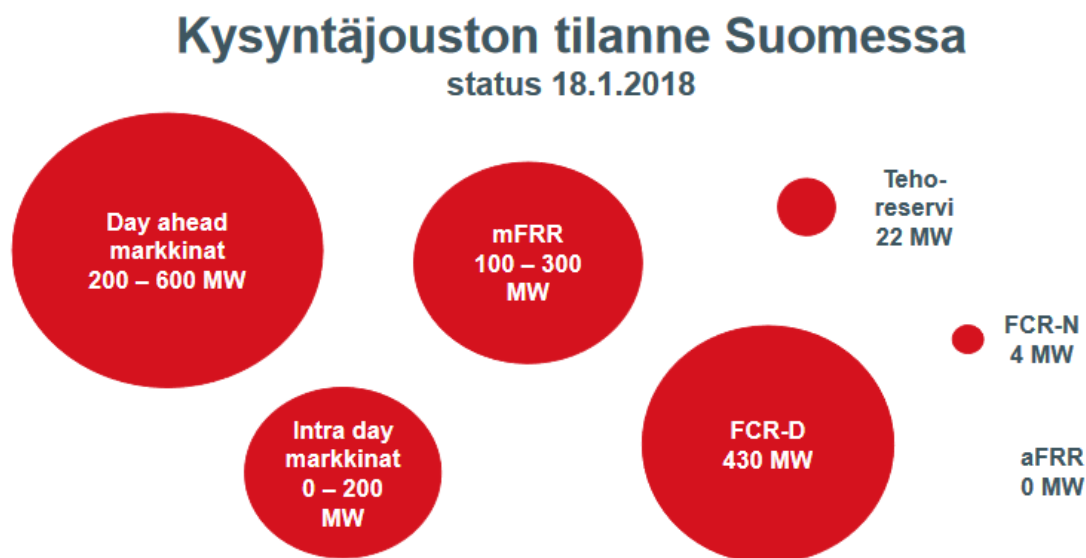
Oletan, että muu sähköön kulutus pysyy suurin piirtein samana. Vain tilojen sähkölämmityksiin menevä sähköteho muuttuu ulkolämpötilan mukaan. Tämä tarkoittaa, että koko rakennuskannan lämmitykseen menevä sähköteho muuttuu noin 4 %, jos ulkolämpötila muuttuu 1 °C. Kuvassa 3 on ilmaistu vuosien 2017–2018 Suomen sähkönkulutus kulutuskohteittain (Sähköön hankinta ja kulutus 2019). Kuvasta huomaa kotitalouksien potentiaalin kysynnänjouston suhteen.



Kuva 3. Suomen sähköön kulutus vuosina 2017–2018. Koti- ja maataloudet kattoivat noin 28 % Suomen sähkönkulutuksesta vuosina 2017–2018. (Sähköön hankinta ja kulutus 2019)

Kysynnänjouston suurimmat ohjauspotentiaalit ovat lämmityskaudella sähkölämmityksessä ja käyttöveden lämmityksessä läpi vuoden (Järventausta ym. 2015, 4). Toimitila- ja palvelukiinteistöjen sähkönkulutustarpeet vaihtelevat rakennuksen käyttötarkoituksen, rakennusajankohdan sekä teknisten ratkaisui-

jen pohjalta ja ohjattavat kuormat löytyvät ilmanvaihdosta, jäähdytyksestä, valaistuksesta sekä sulana pidon aiheuttamasta sähkön käytöstä (Järventausta ym. 2015, 31). Kysynnän jouston suhteen kerrostalot ovat vaikeimmin hyödynnettäviä. Niissä suurimman ja ohjattavissa olevan tehon muodostavat auto-lämmitys, saunat ja kosteiden tilojen sähköiset lattialämmitykset (Järventausta ym. 2015, 31). Kuvassa 4 on kysyntäjouston tilanne Suomessa 18.1.2018 (Reservituotteet ja reservien markkinapaikat 2019, 18).



Kuva 4. Kysynnän jouston tilanne Suomessa 18.1.2018. Hankinta on markkinaehtoista kotimaisen tuotanto- ja kulutuskapasiteetin osallistuessa halutessaan reservien ylläpitoon. (Reservituotteet ja reservien markkinapaikat 2019, 18)

### 3.1 Kysynnänjouston hyödyntäminen sähkömarkkinoilla

Sähkön jälleenmyyjällä on jo asiakkaita ja ne käyvät aktiivisesti kauppaa sähkömarkkinoilla, mutta kysyntäjoustossa muu markkinatoimija, esim. aggregaattori tai jokin muu palveluntarjoaja, voi olla kysyntäjouston palveluiden toimeenpanija. Jos myyjällä on käytettävissä riittävä määrä kysyntäjoustoresursseja, kysyntäjousto tarjoaa työkalun sähkönmyyjälle sähkönhankintojen pitkän aikavälin suojauksen varmentamiseen ja lyhyen aikavälin sähkökaupan tuloksen maksimoimiseen. (Järventausta ym. 2015, 43-44.)

Kysyntäjousto voi tarjota uusia kilpailukykykeinoja asiakkaiden sitouttamisen ja vihreiden arvojen kautta. Mitä tiukemmat ovat ohjattavuusvaatimukset, sitä suuremmat ovat tuotto-odotukset. Hajautettujen energiaressurssien hyödyntäminen sähkömarkkinoilla edellyttää, että resurssit on koottu riittävän suuriksi

kokonaisuuksiksi, jotta niitä voidaan käyttää monipuolisesti eri markkinapajoilla. (Järventausta ym. 2015, 43-44.)

### 3.2 Kysynnänjoustopon hyödyntäminen reservimarkkinoilla

Suomessa on käytössä reservijärjestelmä, johon kuuluvat Fingridin ylläpitämät reservit ja Energiaviraston valvonnassa oleva erillinen tehoreservijärjestelmä. Reservit voidaan jakaa käyttötarkoituksensa mukaan taajuuden vakautusreserveihin, joita käytetään taajuuden hallintaan ja taajuuden palautusreserveihin. Niiden tarkoituksena on palauttaa taajuus normaalialueelle ja vapauttaa aktivoituneet taajuuden vakautusreservit takaisin käyttöön. (Järventausta ym. 2015, 47.)

Fingrid varmistaa säätökapasiteettimarkkinoilla, että sillä on seuraavana päivänä käytettävissä tarpeeksi ylösäätotarjouksia (Reservituotteet... 2019, 14). Tarvittavan tehoreservin määrän Suomessa määrittää Energiavirasto. Se myös kilpailuttaa reservilaitokset, määrittää reservin ehdot ja valvoo toimintaa (Järventausta ym. 2015, 48). Pohjoismaissa otettiin vuonna 2013 käyttöön automaattinen taajuudenhallintareservi (FRR-A) (Järventausta ym. 2015, 48 – 49). Fingrid täyttää nopean häiriöreservin velvoitteensa omistamillaan varavoi-malaitoksilla, sopimuksiin perustuvilla käyttöoikeussopimuslaitoksilla ja irti ky-tkettävillä kuormilla (Järventausta ym. 2015, 47).

Reservien vuosimarkkinoilla tarjouskilpailu järjestetään syksyllä seuraavaksi vuodeksi. Tarjouskilpailussa vuosimarkkinahinta määräytyy kalleimman hyväksytyn tarjouksen mukaan. Sen pohjalta määritellään toimijakohtainen vuosisopimusmäärä. Reservitoimittaja jättää sitovat tuntikohtaiset suunnitelmat (MW) ylläpitämästään reservistä edellisenä päivänä klo 18:aan mennessä. Fingrid ostaa suunnitelman mukaisen määrän täysimääräisenä kiinteään hintaan. Tuntimarkkinoilla reservitoimittaja jättää tuntikohtaiset tarjoukset €/MW ja MW edellisenä päivänä klo 18:aan mennessä. Fingrid ostaa tunnille tarvitsemansa reservin. Hinta määräytyy kalleimman käytetyn tarjouksen mukaan. Vuosisopimuksellinen reservitoimittaja voi osallistua tuntimarkkinoille vain, jos on kyseisellä tunnilla täyttänyt vuosisopimusmääränsä täysmääräisesti. Taulukossa 2 on vertailu Suomessa käytössä olevista reserveistä. (Reservituotteet... 2019, 6 – 13.)

Taulukko 2. Suomessa käytössä olevien reservituotteiden vertailu niiden ominaisuuksien ja hintatason mukaisesti vuonna 2019. Reservituotteet hankitaan tunti- tai vuosimarkkinoilla. Niiden aktivointiaika ja minimitarjous vaihtelevat reservin käyttötarkoituksen mukaan. (Reservituotteet ja reservien markkinapaikat 2019, 6-13)

	Käyttö	Aktivointiaika	Hankinta	Hintataso	Minimitarjous
Nopea taajuusreservi	Pienen inertiaan tilanteiden hallinta suurissa taajuuspoikkeamissa.	0,7 – 1,3 sek	Päivittäinen hankinta. Käyttöönottotavoite kesä 2020	Ei vielä määritetty	Ei vielä määritetty
Taajuusohjattu häiriöreservi	Suuremmat taajuuspoikkeamat	50 % 5 sek 100 % 30 sek	Tuntikohtaiset markkinat	2 €/MWh vuosimarkkinoilla. Tuntimarkkinoilla parista eurosta kymmeneen euroon/MWh	1 MW
Taajuusohjattu käyttöreservi	Jatkuva säätö tehon säädössä ylös alas	Parin minuutin viive taajuuden mukaan	Tuntikohtaiset markkinat, joilla korvaus ylläpidetystä kapasiteetista ja nettoenergiasta	13 €/MWh vuosimarkkinoilla ja kymmeniä euroja/MWh tuntimarkkinoilla.	0,1 MW
Automaattinen taajuudenhallintareservi	Jatkuva säätö tehon säädössä ylös alas	Parin minuutin viive tehon mukaan	Erilliset ylös- ja alassäätötarjoukset. Tuntikorvaus tehosta ja säädetyistä energiasta	Kapasiteetin hinta kymmeniä euroja/MWh. Energiahinta säätösähkömarkkinoiden mukaisesti.	5 MW
Nopea häiriöreservi	Varmistettu ylös- ja alassäätökapasiteetti	15 min	Fingrid tuottaa nopean häiriöreservin omilla voimalaitoksillaan	-	-

Kuten taulukosta huomaa, niin kaikille reservituotteille annetaan tiukkoja aktivointiaikoja ja pienin minimitarjous on 0,1 MW. Tuntikohtaisilla reservimarkkinoilla pitää seurata koko ajan markkinoita saadakseen parhaan hinnan ja vuosimarkkinoilla pitää sitoutua toimittamaan tarjoamansa reservin koko vuoden ajan. Edellä mainituista syistä sähkön pientuottajalla on nykyisin käytännössä mahdotonta toimia suoraan kysynnän jouston myyjänä, vaan on käytettävä esim. aggregaattorin palveluita kysynnänjouston välittäjänä.

### 3.3 Kysynnänjouston tulevaisuus

Energiaa tulee olla jatkuvasti saatavilla kaikille suomalaisilla ja Suomen teollisuudelle. Energian varastointi voi olla osa ratkaisua, mutta energian laajamittainen varastointi ei ole mahdollista. Siksi sähkön kulutuksen ja tuotannon pitää olla tasapainossa. Tasapainon saavuttaminen on jatkossa entistä vaikeampaa, sillä tuotanto painottuu yhä enemmän sääherkkiin uusiutuviin tuotantomuotoihin. (Sähkön kulutusjouston tarve kasvaa 2019.)

Koska tuotannon vaihtelevuus lisääntyy, energian kulutuksen joustavuutta tulee lisätä. Kysynnänjoustoa voidaan edistää sääntelyn ja hinnoittelun avulla, sekä tukemalla kysynnänjoustoa tukevia palveluita. Kysynnänjouston mahdollistavat digitaaliset teknologiat ja palvelut. Näiden avulla voidaan pienasiakkaiden ja teollisuuden kulutusta ohjata automaattisesti tuotannon ja asumisviihtyvyyden kärsimättä. Kuluttajille, yrityksille ja taloyhtiöille pitää antaa helppo keino osallistua energiamarkkinoille, jotta siirtyminen vähähiiliseen energijärjestelmään mahdollistuisi. (Hyysalo ym. 2017, 4.)

Kysynnänjouston tulee olla taloudellisesti houkuttelevaa kaikille osapuolille ja toimivassa markkinamallissa sähkön käyttäjä, myyjä, verkkoyhtiö ja palveluita tarjoava jousto-operaattori hyötyvät joustoon osallistumisesta suoraan tai välillisesti. Kysynnänjouston avulla kantaverkon tehonhallinta paranee kokonaisuutena. Siirron, sähköenergian ja sähköverojen hinnoittelumallien uudistamisessa on tarvetta toimialan ja päättäjien yhteistyölle siten, että hinnoittelu edistää kysyntäjoustoa, energiatehokkuutta ja uusiutuvan energian hajatuotantoa. Kuluttajien ja sähköyhtiöiden yhteisenä tavoitteena on se, että kodin kulutusta ohjataan automaattisesti ja huomaamatta. Kuluttajan aktiivisuutta tarvitaan lähinnä hankintapäätöksessä ja etäohjauksessa. (Hyysalo ym. 2017, 32.)

VTT on yhdessä Vaasan yliopiston kanssa kehittänyt tutkimushankkeessa uutta markkinapaikkaa, johon pientuottajat voisivat myydä esim. tuottamaansa aurinkoenergiaa ilman välikäsiä. Markkinapaikan avulla voitaisiin parantaa sähköverkkojen kokonaistehokkuutta ja luotettavuutta, sekä maksimoida uusiutuvien energialähteiden pientuotannon integrointi osaksi sähköverkoja. Joustoresurssien kokonaisuhyötyjen maksimoimiseksi myös kanta- ja jakeluverkkoyhtiöiden tiedonsiirron läpinäkyvyyttä tulisi parantaa, samoin joustoresursseihin liittyviä pelisääntöjä. Markkinapaikan pilottiversio on jo valmis ja testausvaiheessa. Markkinapaikan periaate on kuvattu kuvassa 5. (Sähkön kulutusjoustopotentialin kasvu 2019)



Kuva 5. VTT:n ja Vaasan yliopiston reaaliaikainen kysynnänjoustopotentialin markkinapaikka. Markkinapaikka on tarkoitettu pientuottajille, jotka haluavat myydä tuottamaansa energiaa ilman välikäsiä ja se on pilottivaiheessa. (Sähkön kulutusjoustopotentialin kasvu 2019)

Uutta sähkönkulutuspotentialiaa voidaan saada kysyntäjoustopotentialin piiriin jopa yli 2000 MW vuoteen 2030 mennessä. Jotta kysyntäjoustopotentialia laajenisi tarvitaan teollisuuden kartoitusta, pilotteja ja kannustimien kehittämistä sekä sähkönkäyttäjän kulttuurillista muutosta passiivisesta käyttäjästä aktiiviseksi tuottajaksi. Lisäksi tarvitaan uutta tuotantoa ja palveluita, jotka aggregoivat pientuotantoa ja kysyntäjoustopotentialia isompiin kokonaisuuksiin linkittäen oman tuotannon ja varastoinnin osaksi koko verkon toimintaa ja tehonhallintaa. Tarkasteluissa tunnistettiin seuraavat sähkönkulutuspotentialit, jotka voitaisiin saada kysyntäjoustopotentialin piiriin 2030 (Hyysalo ym. 2017, 33):

- Teollisuuden suurkuluttajat → uusi potentialiaali  $\approx 1000$  MW
- Kerros- ja pientalot ja pienkuluttajat → yhteensä  $> 1000$  MW
- Isot sähkövarastot, kulutuksen jaksottaminen → yhteensä  $\approx 500$  MW



Kysynnänjouston laajamittaiselle soveltamiselle on sekä poliittisia että taloudellisia esteitä ja haasteita. Esteitä ja rajoitteita voidaan poistaa ja vähentää tuotteistamisen kautta, lainsäädännön avulla ja luomalla kannusteita verkkoyhtiöille kysynnänjouston edistämiseen. Esteitä ja rajoitteita kysynnänjoustolle asettavat seuraavat tekijät (Järventausta ym. 2015, 37-38):

- Kysynnänjouston pitäisi olla riittävän kannattavaa kaikkien osallistuvien osapuolien kannalta.
- Jos loppuasiakkaat eivät pysty myymään kysynnänjoustoaan, ei kysynnän jousto voi yleistyä.
- Hinnoittelumallien pitäisi olla riittävän läpinäkyviä ja selkeitä.
- Käytettävän tekniikan pitäisi olla luetettavaa ja helppokäyttöistä.
- Kysynnänjoustoon liittyvän informaation saatavuuden ja tietämyksen taso pitäisi olla riittävän korkea loppukäyttäjien keskuudessa.
- Kysynnänjouston edellytykset riippuvat säädöksistä, joiden säätämisestä ei nykyisin ole kaikkea koordinoitu kysynnänjouston näkökulmasta.
- Rakentamismääräyksissä rakennusten energiankulutusta tarkastellaan vuosienergiana, eivätkä rakentamismääräykset ota huomioon energiakäytön ja tehon kulutuksen ajallista jakautumista.
- Hajanainen toimialakenttä. Suuri määrä erilaisia myyjiä ja verkkoyhtiöitä, standardoimattomat prosessit, tietojärjestelmien rajapinnat ja toimintavasteiden suuri hajonta. Lisäksi usein puuttuu tieto asiakkaan kuormista ja niiden ohjattavuudesta.

## 4 ENERGIAKATSELMUS PÄIVÄKOTI ONNENKENGÄSSÄ

Päiväkoti Onnenkenkä Oy on 30-paikkainen yksityinen päiväkoti Orimattilassa. Onnenkenkä toimii kiinteistössä, joka on alun perin ollut kunnallinen päiväkoti. Se on rakennettu paritalon piirustusten pohjalta siten, että rakennuspiirustuksissa saunoiksi suunniteltuihin tiloihin on laajennettu WC-tiloja. Vain yksi keittiö on rakennettu ja paritalon puolikkaiden väliseen väliseinään on puhkaistu ovi. Paritalorakennukseen kuuluvasta lämpimästä varastosta on väliseinä poistettu.

Keväällä 2020 tein kiinteistöön energiakatselmuksen (Liite 1). Kiinteistöllä ei ole lämpöliittymää. Lämmitysmuotona toimii suora sähkölämmitys. Lämmityksen osuus sähköenergian kulutuksesta on laskennallinen. Energiakatselmuksessa todettiin sähköenergian ja sähkötehon kulutuksesta seuraavaa:

### 4.1 Energian kulutus ja tariffit

Energiakatselmuksessa kiinteistön laskennallinen lämpöenergian kulutus vuonna 2019 oli 27,1 MWh/a ja ominaiskulutus 2019 oli 43,1 kWh/m<sup>3</sup>. Päiväkotien lämmön ominaiskulutus on vuosien 2011-2017 Motivan energiakatselmustilastojen mukaan keskimäärin 58,6 kWh/m<sup>3</sup> (Palvelusektorin kulutuksia, 3-4). Kiinteistön lämpöenergian kulutus oli keskimääräistä parempi.

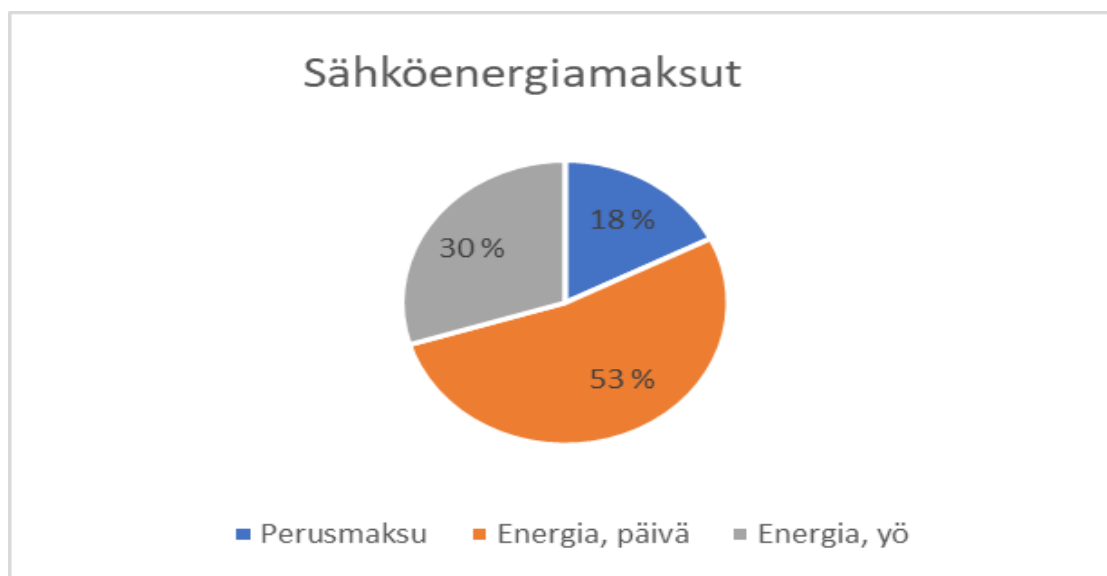
Energiakatselmuksen perusteella kiinteistön sähköenergian ominaiskulutus 2019 oli 18,42 kWh/m<sup>3</sup>. Päiväkotien sähkön ominaiskulutus on vuosien 2011-2017 Motivan energiakatselmustilastojen mukaan keskimäärin 21,6 kWh/m<sup>3</sup> (Palvelusektorin kulutuksia, 3-4). Kiinteistön sähköenergian kulutus oli myös keskimääräistä parempi.

Vaikka kiinteistön energian ominaiskulutus on huomattavasti pienempi kuin päiväkotien keskimäärin, se ei tarkoita sitä, että kohteen energiatehokkuus olisi kunnossa. Tilastoissa on 207 kpl päiväkotia, jotka on rakennettu eri aikoina silloisen rakennushetken energiatehokkuusvaatimuksin. Tilastossa ei eritellä päiväkoteja rakennusvuoden mukaan. Näin ollen niiden energian kulutus ei ole keskenään suoraan vertailukelpoista.

Päiväkoti Onnenkengä Oy vaihtoi sähköenergian toimittajaa Kymenlaakson sähköön 28.1.2020. Kyseessä oli normaali kilpailutus energian kustannusten pienentämiseksi. Uuden sähkösopimuksen mukaiset sähköenergian kustannukset on eritelty taulukossa 3. Sama on esitetty graafisesti kuvassa 6. Koska varhaiskasvatus on alv-vapaata toimintaa, eli arvonlisäveroa ei voi liiketoiminnassa vähentää, taulukossa ja kaikissa laskelmissa käytetään tästä eteenpäin verollisia hintoja.

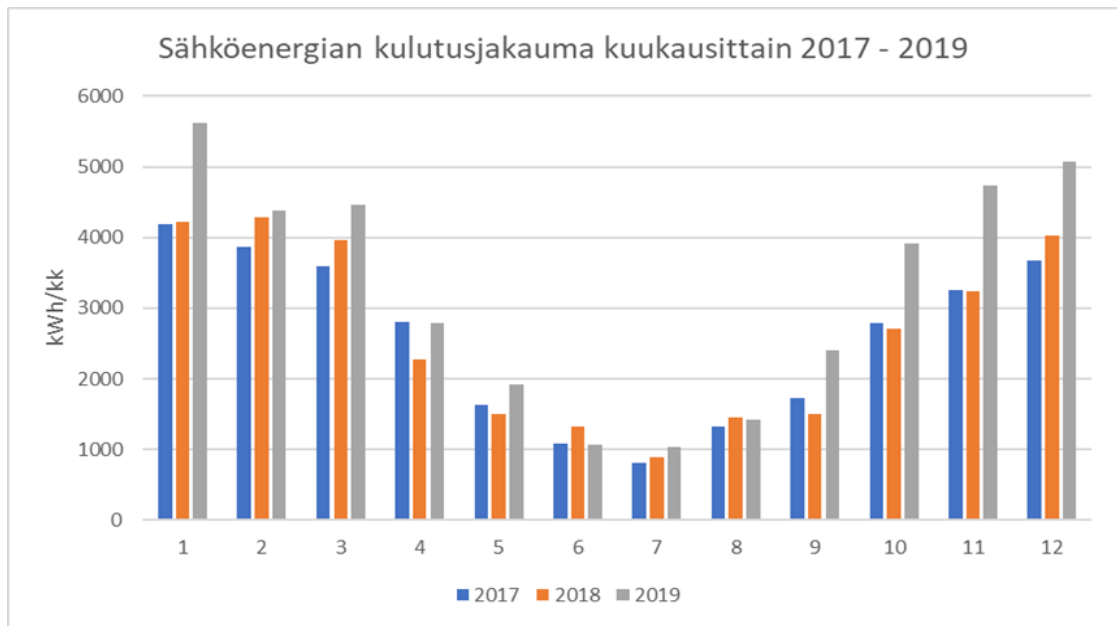
Taulukko 3. Taulukossa Onnenkengän sähköenergian kustannusjakauma vuodelta 2019. Perusmaksut sekä yöllä ja päivällä käytetty sähköenergia on eroteltu omiksi kustannuksikseen. Laskennassa on käytetty +alv 24 % hintoja, sillä varhaiskasvatus on arvonlisäverotonta toimintaa, joten sitä ei voi vähentää. (Keski-Luopa 2020.)

	Tariffi (alv 24 %)				
	Energia	Siirto	Sähkövero	Maksuperuste	Vuosikustannus
Perusmaksu	11,9 €/a	785,22 €/a			797,12 €/a
Energia, päivä	6,19 <sub>snt/kWh</sub>	2,39 <sub>snt/kWh</sub>	2,25 <sub>snt/kWh</sub>	22,1 MWh/a	2393,43 €/a
Energia, yö	4,99 <sub>snt/kWh</sub>	0,82 <sub>snt/kWh</sub>	2,24 <sub>snt/kWh</sub>	16,8 MWh/a	1352,4 €/a
<b>Yhteensä (alv 24 %)</b>					<b>4542,95 €/a</b>



Kuva 6. Kuvassa on Onnenkengän sähköenergiamaksujen prosentuaalinen jakauma vuodelta 2019. Maksut jakautuvat perusmaksuihin ja energiamaksuihin. (Keski-Luopa 2020.)

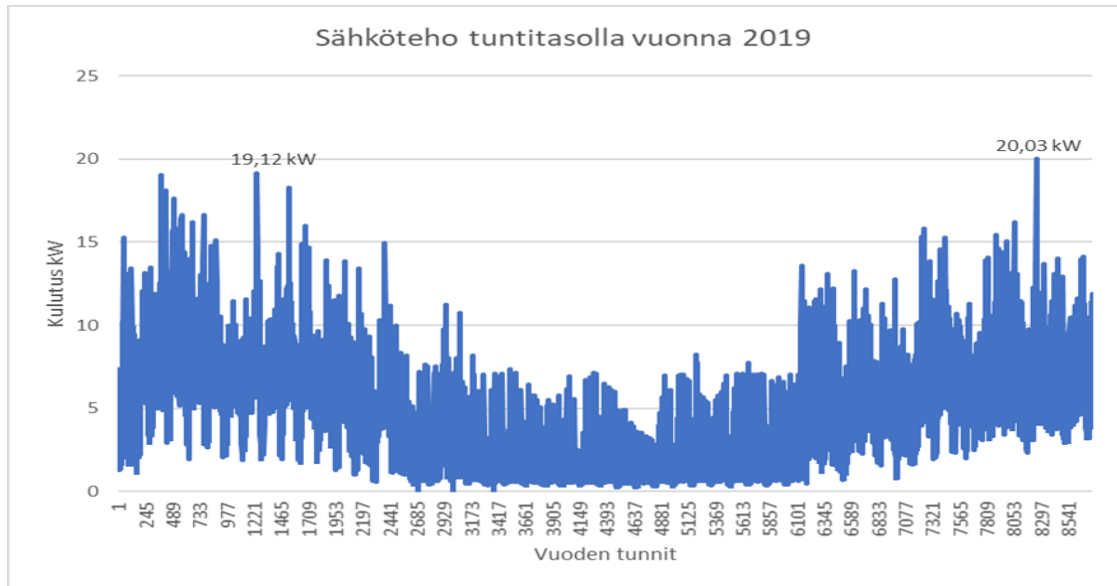
## 4.2 Kuukausikulutus ja huipputeho



Kuva 7. Kuvassa on Onnenkengän kuukausittainen sähköenergian kulutusjakauma vuosina 2017-2019. Yöllä ja päivällä käytetty sähköenergia on yhdistetty yhdeksi kulutukseksi. (Keski-Luopa 2020)

Kuvassa 7 on kuukausittainen sähköenergian kulutus vuosina 2017–2019. Sähköenergian kulutus on noussut lämmityskaudella huomattavasti vuonna 2019 verrattuna aikaisempien vuosien kulutukseen. Energiakatselmuksessa todettiin, että sähköenergian kulutuksen nousu johtuu pääasiassa ilmanvaihtoyksiköiden käyttöaikojen muutoksista.

Kohteen kokonaiskuormitusta tarkasteltiin Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n nettipalvelun (Online) kautta saatujen tuntitehotietojen perusteella. Kuormitusvaihtelu on esitetty kuvassa 8. Kaikki suurimmat kulutushuiput tapahtuivat vuosien 2017–2019 lämmityskaudella päiväkodin toiminta-ajan ulkopuolella, pääasiassa yöllä klo 22:00-01:00 välisenä aikana.



Kuva 8. Onnenkengän kulutuksen sähkäteho tuntitasolla 2019. Tehot on haettu Kymenlaakson Sähkön online-palvelun kautta. Kaksi suurinta kulutuspiikkiä on merkitty kuvaan. (Keski-Luopa 2020)

#### 4.3 Lämmitysjärjestelmän muutokset energiakatselmuksen perusteella

Kiinteistössä ei ole vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. Se rajaa uusiutuvan energian käyttömuodoista pois kaikki ne tavat, joissa lämpö siirretään vesikiertoisen järjestelmän kautta. Osa lämpimästä käyttövedestä voitaisiin lämmittää käyttämällä aurinkolämpöjärjestelmiä. Veden lämmitykseen kuluu noin 3,5 MWh/a. Koska kaikkea tarvittavaa energiaa ei voi tuottaa läpi vuoden aurinkolämpöjärjestelmän avulla ja koska veden lämmitykseen tarvittava energia on suhteellisen pientä, ei aurinkolämpöjärjestelmän investoiminen käyttöveden lämmittämiseen ole taloudellisesti kannattavaa.

Ilmalämpöpumput soveltuvat parhaiten sellaisiin taloihin, joissa on suora sähkölämmitys ja avara pohjaratkaisu. Ilmalämpöpumppu on hyvä tukilämmitysmuoto, jota voi käyttää kesällä myös jäähdytykseen. Tutkimusten mukaan ilmalämpöpumppuilla voidaan säästää 10-30 % kokonaisenergiankulutuksesta. Suhteellisesti suurimmat säästöt saadaan aikaan ominaiskulutukseltaan ja pinta-alaltaan suurimmissa taloissa. (Ilmalämpöpumppu 2018.)

Onnenkengän kiinteistö soveltuukin hyvin sellaiseksi kohteeksi, johon tutkimusten mukaan kannattaa asentaa ilmalämpöpumppuja tukilämmitykseksi. Käyttäjien mukaan kesällä tarvittaisiin myös tilojen jäähdytystä. Koska ilmalämpöpumppujen jäähdytyskäyttö kuluttaa myös sähköä, se pienentää sitä

kustannusetua, joka lämmityksen sähköenergian kulutuksen pienentämisellä saavutetaan, mutta tuo samalla lisää mukavuutta.

Taulukossa 4 on energiakatselmuksessa laskettu ilmalämpöpumpusta saatava kannattavuus- ja säästölaskelma. Kustannusten säästö ja investointikustannukset on laskettu keskimääräisten sähköenergian muuttuvien kustannusten perusteella Motivan laskurilla (Lämmitystapojen vertailulaskuri 2017). CO<sub>2</sub>-päästöjen väheneminen on laskettu energiakatselmuksissa käytetyn marginaaliperusteiseen kertoimen 600 kgCO<sub>2</sub>/MWh avulla, joka perustuu siihen, että sähkön käytön väheneminen vähentää nimenomaan fossiilisilla polttoaineilla tuotetun sähkön tuotantoa (CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet 2012, 7-8).

Taulukko 4. Taulukossa on laskelma ilmalämpöpumpun kannattavuudesta ja säästöpotentiaalista Onnenkengän kiinteistössä. Laskelman tuloksena saadaan investoinnin takaisinmaksuaika. (Keski-Luopa 2020)

	Sähköenergia kWh/a	Kustannus €/a
Ennen	17927	1782
Jälkeen	14898	1514
Säästö	2937	268
CO <sub>2</sub> -säästö		1762 kg/a
Investointi		2000 €
Takaisinmaksuaika		7,5 a

#### 4.4 Energiakatselmuksen näkökannan laajentaminen

Energiakatselmus sisälsi ilmalämpöpumpun lisäksi myös muita keinoja sähköenergian käytön vähentämiseksi. Näistä esimerkkinä kiinteistön sisälämpötilan vähentäminen 5 °C yöaikana ja viikonloppuisin. Se ei ole kysynnän joustoa, sillä kysymyksessä ei ole kulutuksen hetkellinen vähentäminen tai kulutuksen siirtäminen.

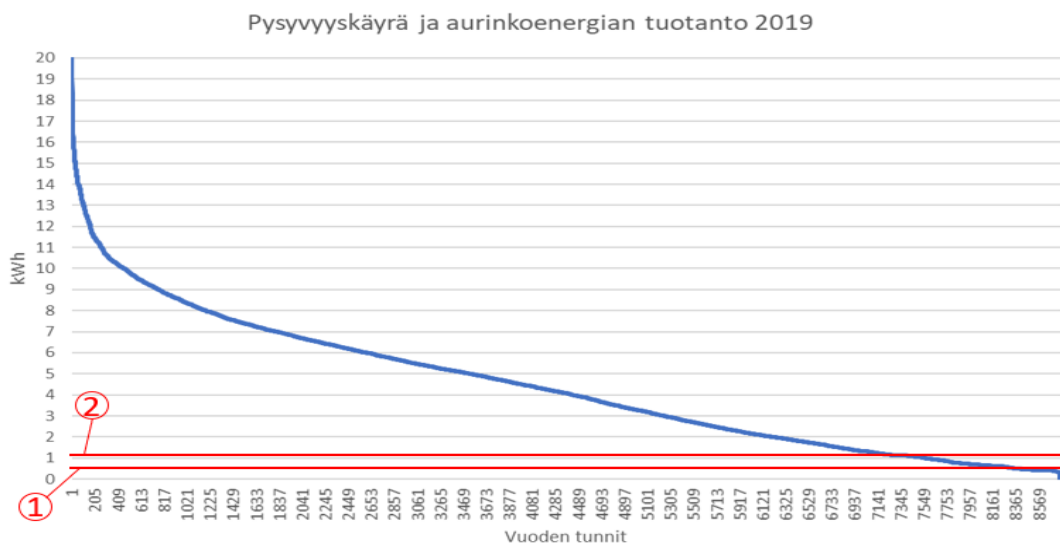
Rakentamismääräykset eivät ota huomioon energiakäytön ja tehon kulutuksen ajallista jakautumista (Järventausta ym. 2015, 37-38). Energiakatselmuksen raportointiohjeet on tähän saakka tehty rakentamismääräysten perusteella. Ohjeet keskittyvät energian käytön vähentämiseen, eivät energian käytön siirtämiseen huippukulutuksen ajankohdasta muihin ajankohtiin.

Halusin laajentaa energiakatselmuksen näkökantaa siihen kysymykseen, onko nykyisen teknologian hintatasolla mahdollista toteuttaa kannattavasti sähkön kysynnänjoustoa suoran sähkölämmityksen rakennuksissa. Tämä toteutettaisiin tuottamalla osa käytetystä sähköenergiasta itse ja erillisen energiavaraston avulla. Sähköenergia tuotettaisiin aurinkopaneeleiden avulla.

## 5 SÄHKÖN KYSYNNÄNJOUSTON SIMULAATIO SUORAN SÄHKÖLÄMMITYKSEN KIINTEISTÖISSÄ

Aurinkosähkön taloudellisen mitoituksen perustana on toteuttaa aurinkosähkön tuotanto oman sähkön kulutuksen pohjalta. Lähitulevaisuudessa sähkön myynnistä saatava korvaus ei anna järkevää hyötyä suhteessa investointiin. Ylimitoittaminen lisää takaisinmaksuaikaa ja vähentää aurinkosähkölaitteistosta saatavaa nettohyötyä. (Orrberg 2017.)

Tässä päättötyössä aurinkosähkön kannattavuutta arvioidaan simulaation avulla (Liite 2). Simulaatio perustuu Päiväkoti Onnenkengän todelliseen tuntikohtaiseen sähkön kulutukseen vuonna 2019. Aurinkosähkön tuotanto on arvioitu simulaatioon valittujen 5,7 kWp:n ja 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden tehon mukaan EU:n julkaiseman työkalun (Interactive tools s.a) avulla.



Kuva 9. Päiväkoti Onnenkengän vuoden 2019 sähkönkulutus pysyvyyskäyrämuodossa ja simulaatioon valittujen aurinkopaneeleiden sähkön vuosituotanto vuoden tunneille jaettuna. 1 on 5,7 kWp aurinkopaneelit, joiden arvioitu vuosituotanto on 4795 kWh. 2 on 10,26 kWp aurinkopaneelit, joiden arvioitu vuosituotanto on 8631 kWh. (Keski-Luopa 2020.)

Pysyvyyskäyrän avulla tuntikohtaiset sähkönkulutukset ilmaistaan suuruusjärjestyksessä. Kuvassa 9 on Päiväkoti Onnenkengän vuoden 2019 sähkönkulutuksen pysyvyyskäyrä ja edellä mainitun työkalun avulla arvioitu aurinkopaneeleiden vuosituotanto. Aurinkopaneeli 1 on 5,7 kWp ja sen arvioitu sähkön vuosituotanto on 4795 kWh. Aurinkopaneeli 2 on 10,26 kWp ja sen arvioitu



sähkön vuosituotanto on 8631 kWh. Suhteellisen aurinkosähkön tuotantoa havainnollistaakseni aurinkopaneeleiden tuotanto on kuvassa jaettu tasan vuoden jokaiselle tunnille.

Simulaatiossa laskurin antamat arviot kuukausikohtaiselle aurinkosähkön tuotannolle on jaettu tasaisesti kuukauden jokaiselle päivälle 10 tunnin ajanjaksolle klo 9-19. Tämä siksi että kiinteistön sijaintipaikassa ei ole tiedossa todellisia tuntikohtaisia auringon säteilymääriä. Tämä aiheuttaa epävarmuustekijöitä simulaatioon. Toisaalta kuukausituotanto on jaettu kyseisen kuukauden mukaan, joko 30 tai 31 päivälle, eli 300 tai 310 tunnille. Tämä taas vähentää epävarmuustekijöitä, sillä epävarmuustekijät tasaantuvat pidemmällä ajanjaksolla.

Simulaatiosta on tehty myös sellainen versio, johon on lisätty akusto energiavarastoksi. Energiavaraston avulla on tarkoitus simuloida yöllä halvemmalla yösähköllä ladatun sähköenergian käyttöä päivällä kalliimman päiväsähkön aikaan. Lisäksi energiavarastoa käytetään aurinkosähkön varastointiin sellaisina aikoina, jolloin aurinkosähkön tuotanto ylittää kiinteistön sähkön kulutuksen.

## 5.1 Simulaation toteutus

Jokaisessa simulaatiossa (Liite 2) on kuusi saraketta ja rivejä vuoden tuntien verran (8760 kpl). Sarakkeet ovat:

- TUNTIKOHTAINEN SÄHKÖNKULUTUS
- OSTETTU SÄHKÖENERGIA (YÖ)
- OSTETTU SÄHKÖENERGIA (PÄIVÄ)
- AURINKOSÄHKÖ (TUOTANTO)
- AURINKOSÄHKÖ (MYYNTI)
- AKKUVARASTON VARAUS (vain simulaatioissa, jotka sisältävät energiavaraston).

Simulaation eteneminen rivikohtaisesti vain aurinkopaneeleita sisältävässä järjestelmässä:

- Onnenkengän tuntikohtainen sähkönkulutus kirjataan kellonajan mukaan, joko päiväsähkö- tai yösähkösarakeeseen.
- Aurinkosähkön tuotanto vähentää rivin päiväsähkön ostotarvetta

- Jos aurinkosähkön tuotanto ylittää sen hetkisen sähkön kulutuksen, niin ylijäämä sähkö myydään välittömästi.

Simulaation eteneminen rivikohtaisesti aurinkopaneeleita ja energiavarastoja sisältävässä järjestelmässä:

- Sähköverkosta ladattava sähköenergia kirjataan kellonajan mukaan, joko päivä sähkö- tai yö sähkösarakeeseen.
- Päiväkoti Onnenkengän tuntikohtainen sähkönkulutus vähennetään ladattavasta energiasta. Näiden erotus joko lisää tai vähentää energiavarastossa olevaa energiaa. Aurinkosähkön tuotanto lisää energiavarastossa olevaa sähköenergiaa
- Jos aurinkosähkön tuotanto ylittää vuorokauden aikana käytettävän sähköenergian määrän, ylijäämä pyritään myymään sähköverkon tehohuippujen aikana.
- Jos aurinkosähkön tuotanto ylittää energiavaraston kapasiteetin, ylijäämä sähkö myydään välittömästi.

Simulaatio (Liite 2) on tehty Excel-taulukossa. Simulaatio toimii manuaalisesti siten että rivikohtaisesti muutetaan ostetun sähköenergian sarakkeiden ja myytävän aurinkosähkön lukuja. Muut sarakkeet laskevat arvot automaattisesti. Simulaation parametrit ja tavoitteet ovat tärkeysjärjestyksessä seuraavat:

1. Oletetaan Päiväkoti Onnenkengän sähköjärjestelmä olevan ryhmitelty siten että irtikytkettävillä kuormilla sähköteho rajataan 17 kW:n tehoon.
2. Oletetaan ettei valittuja simulaatioparametreja voida muuttaa kesken simulaation parempaan lopputulokseen pääsemiseksi.
3. Aurinkosähkön myyntiä toteutetaan vain, jos sitä ei saada kulutetuksi kiinteistössä.
4. Mahdollisuuksien mukaan sähkön kulutusta siirretään päivä sähköstä yö sähköön sen edullisemman hinnan vuoksi.

Ryhmittelyn avulla simuloidaan sitä, että kiinteistössä olisi 3 x 25 A:n pääsulakkeet nykyisten 3 x 35 A:n sulakkeiden tilalla. Se toisi kustannussäästöjä sähkön siirron perusmaksuihin. Sähkölämmitykset voivat toimia irtikytkettävänä

kuormina, sillä niiden hetkellinen irtikytkeytyminen ei aiheuta haittaa rakennuksen toiminnoille eikä ihmisten viihtyvyydelle. Sähkönkulutushistorian mukaan 17 kW:n teho ylitetään vain öisin lämmityskaudella.

Simulaation toimintaparametrit luodaan yhdelle kuukaudelle kerrallaan. Koska ohjausjärjestelmän ei oleteta perustuvan tekoälyyn, se ei voi oppia optimoimaan toimintaa sähkön kulutuksen ja aurinkosähkön tuotannon vaihteluiden mukaan. Toimintaparametrit liittyvät niihin simuloituihin järjestelmiin, joihin on liitetty akut energiavarastoiksi. Toimintaparametrien avulla määritellään esimerkiksi se, kuinka täyteen akut ladataan yösähköllä. Talvella akut ladataan halvemmalla yösähköllä täyteen ja ne kulutetaan tyhjiin päivällä kalliimman päiväsaähkön aikaan. Keväällä, kesällä ja syksyllä käytetään eri parametreja, koska aurinkoenergialla tuotetaan suuri osa käytetystä energiasta.

Aurinkosähkön omakäyttö on aina kannattavampaa kuin aurinkosähkön myynti. Aurinkosähköä joudutaan myymään, jos aurinkosähkön tuotanto ylittää sähkön kulutuksen eikä sähköenergiaa ei pystytä varastoimaan. Pelkkiin aurinkopaneeleihin perustuvissa simulaatioissa aurinkosähköä myydään sillä hetkellä, kun sähkön tuotanto ylittää kiinteistön sähkön kulutuksen. Simulaatioissa, joihin on lisätty akut energiavarastoiksi, pyritään ylimääräinen aurinkosähkö myymään Suomen sähkönkulutuksen tehohuippujen aikaan aamupäivällä ja illalla. Näin voidaan maksimoida saatu tuotto. Saatu myyntihinta on arvioitu sähköpörssin spot-hintojen (Day-ahead prices) mukaan laskemalla kyseisen kuukauden tehohuippujen hintojen keskiarvo vuodelta 2019. Hinnoista vähennetään Kymenlaakson Sähköverkon pientuotannon siirtomaksu 0,0868 snt/kWh (alv 24 %) (Pientuotannon siirtohinnoista 2016).

Koska päiväsaähkö on kalliimpaa, mahdollisuuksien mukaan sähköenergian kulutusta siirretään päiväsaähköstä yösähköön. Tämä toteutuu vain niissä simulaatioissa, joissa on akut energiavarastoina. Käytännössä siirto toteutetaan siten että akkuja ladataan sähköverkosta yösähköllä ja ladattu sähköenergia kulutetaan päivällä.

## 5.2 Simulaatiot

Valitsin simulaatioihin Kymenlaakson Sähkön aurinkopaneelipaketit 5,7 kWp ja 10,26 kWp. Laskelmissa käytin näiden vähimmäishintoja 6 855 € (alv 0 %) ja 11 855 € (alv 0 %). Aurinkopaneelipaketit ovat avaimet käteen paketteja. Ne sisältävät kaikki tarvikkeet, invertterin sekä myös asennuksen. (Aurinkopaneelit yritykseen s.a)

Aurinkopaneelien toimittajia on useita ja hinnat vaihtelevat. Kilpailu pitää kuitenkin huolta siitä, että hinnat ovat vertailukelpoisia. Hinnat perustuvat tämänhetkiseen hintatasoon. Laskennassa käytetään vähimmäishintojen arvonlisäverollisia hintoja 8 500 € (alv 24 %) ja 14 700 € (alv 24 %).

Simulaatioiden energiavarastoiksi käytettäväksi akuiksi valitsin Teslan 14 kWh:n Powerwall-akuston. Sen hinta asennettuna on alkaen 9 560 € (alv 24 %). Asennuskustannukset vaihtelevat akuston sijoituksen ja sähkötaulun mukaan. (Powerwall s.a)

Valitsin Teslan akut sen takia, että Teslalla on pitkä kokemus sähköautojen akuista, eikä akkujen toiminnasta ole kuulunut mitään negatiivista. Lyijyakkuja en edes harkinnut käytettäväksi simulaatioissa, sillä simuloinnin tarkoitus on simuloida tulevan teknologian kannattavuutta, ei väistyvää teknologiaa.

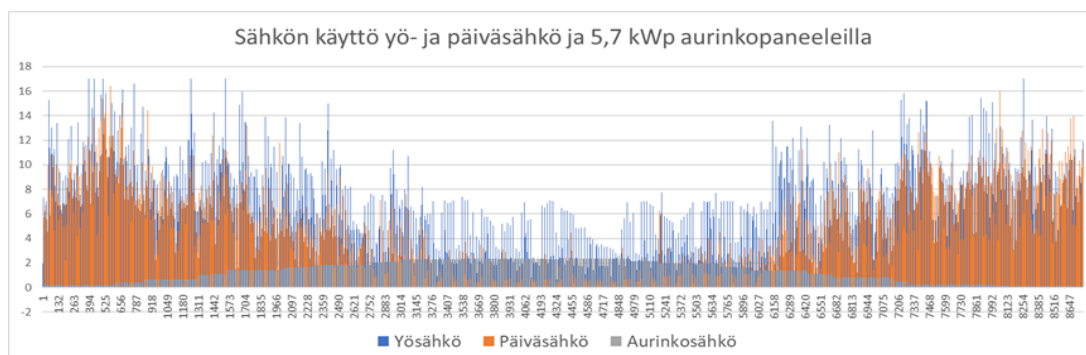
### 5.2.1 Simulaatio 5,7 kWp:n aurinkopaneeleilla

Taulukossa 5 on ilmaistu 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation tulos kuukausittaisen ja vuosittaisen sähkön kulutuksen sekä aurinkosähkön tuotannon ja myynnin osalta. Sähkön vuosikulutus oli 38 800 kWh, josta ostettavaa sähköenergiaa oli 91 %. Aurinkosähkön omakäyttöprosentiksi saavutettiin 73 %.

Taulukko 5. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. (Keski-Luopa 2020)

	Ostettu sähköenergia (kWh)		Aurinkosähkö (kWh)	
	Yö	Päivä	Tuotanto/kk	Myynti/kWh
Tammikuu	2 250	3 297	72	0
Helmikuu	1 790	2 388	183	0
Maaliskuu	1 987	2 035	453	4
Huhtikuu	1 410	921	554	100
Toukokuu	1 008	439	719	247
Kesäkuu	525	171	701	331
Heinäkuu	494	158	730	337
Elokuu	722	305	602	207
Syyskuu	1 227	805	413	47
Lokakuu	1 668	2 001	255	0
Marraskuu	1 838	2 836	72	0
Joulukuu	1 844	3 178	41	0
Yhteensä (kWh)	<b>16 765</b>	<b>18 534</b>	<b>4 795</b>	<b>1 272</b>
Ostettu energia yhteensä (kWh)	<b>35 300</b>		Omakäyttö %	<b>73 %</b>

Kuvalla 10 havainnollistetaan sähkön tuntikohtaista käyttöä ja sen muutosta vuoden tuntien perusteella. Kuvasta huomataan kesällä sähkön käytön perustuvan pääsääntöisesti aurinkosähköön ja yösähköön. Muina vuodenaikoina sähkön käyttö on pääasiassa päivä- ja yösähköä.



Kuva 10. Kuvassa on 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päiväsähköön ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020)

Luvun 4.1.3 taulukossa 4 laskettiin ilmalämpöpumpusta saatava kannattavuus- ja säästölaskelma. Taulukossa 6 on samaa laskentaperiaatetta noudattava 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation avulla tehty kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelma.

Taulukko 6. Taulukossa on simuloinnin perusteella tehty laskelma 5,7 kWp:n aurinkopaneelien kannattavuudesta ja säästöpotentiaalista Onnenkengän kiinteistössä. Taulukossa on ilmaistu sähköenergian säästö, sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöjen alenema ja takaisinmaksuaika. (Keski-Luopa 2020)

	Sähköenergia kWh/a	Kustannus €/a
<b>Ennen</b>		
Energia, päivä	22 1000	2 393,43
Energia, yö	16 800	1 352,4
<b>Yhteensä</b>	<b>38 900</b>	<b>3 746</b>
<b>Jälkeen</b>		
Energia, päivä	18 534	2 007
Energia, yö	16 766	1 351
Ostoenergia yhteensä	<b>35 300</b>	<b>3 359</b>
Aurinkoenergian myynti		-63,67
Energiakulut yhteensä		3 165
<b>Säästö</b>	<b>3 600</b>	<b>453</b>
CO <sub>2</sub> -säästö		2 160 kg/a
Investointi		8 500 €
Takaisinmaksuaika		19 a

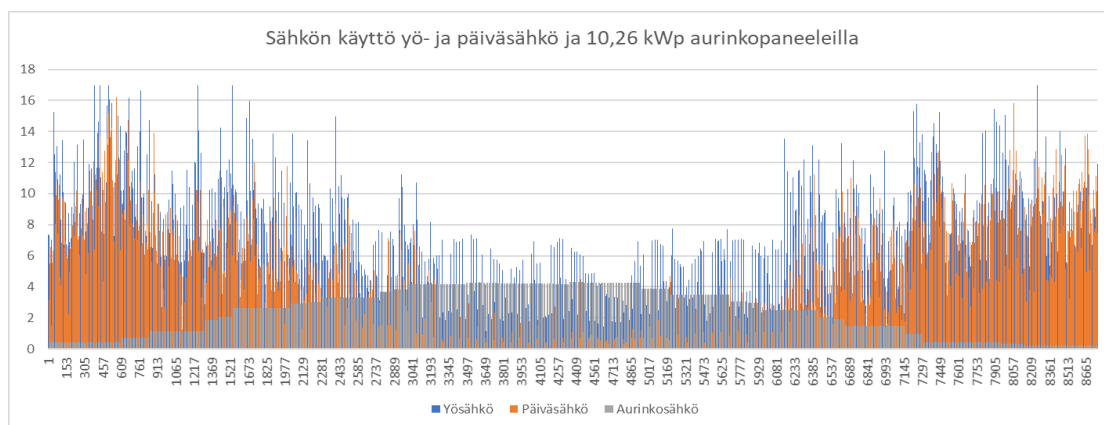
### 5.2.2 Simulaatio 10,26 kWp:n aurinkopaneeleilla

Taulukossa 7 on 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation tulos kuukausittaisen ja vuosittaisen sähkön kulutuksen sekä aurinkosähkön tuotannon ja myynnin osalta. Sähkön vuosikulutus oli 38 800 kWh, josta ostettavaa sähköenergiaa oli 91 %. Aurinkosähkön omakäyttöprosentiksi saavutettiin 73 %.

Taulukko 7. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. (Keski-Luopa 2020)

	Ostettu sähköenergia (kWh)		Aurinkosähkö (kWh)	
	Yö	Päivä	Tuotanto/kk	Myynti/kWh
Tammikuu	2 246	3 231	130	0
Helmikuu	1 789	2 225	329	0
Maaliskuu	1 985	1 711	815	37
Huhtikuu	1 410	716	997	340
Toukokuu	1 008	343	1 295	720
Kesäkuu	525	137	1 262	857
Heinäkuu	494	128	1 313	881
Elokuu	722	217	1 084	596
Syyskuu	1 227	613	743	186
Lokakuu	1 668	1 807	460	4
Marraskuu	1 837	2 779	130	0
Joulukuu	1 842	3 143	74	0
Yhteensä (kWh)	<b>16 754</b>	<b>17 050</b>	<b>8 631</b>	<b>3 621</b>
Ostettu energia yhteensä (kWh)	<b>33 804</b>		Omakäyttö %	<b>58 %</b>

Kuvalla 11 havainnollistetaan sähkön tuntikohtaista käyttöä ja sen muutosta vuoden tuntien perusteella. Kuvasta huomataan sähkön käytön perustuvan kesällä pääsääntöisesti aurinkosähköön ja yösähköön. Muina vuodenaikoina sähkön käyttö on pääasiassa päivä- ja yösähköä.



Kuva 11. Kuvassa on 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päiväsähköön ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020)

Luvun 4.1.3 taulukossa 4 laskettiin ilmalämpöpumpusta saatava kannattavuus- ja säästölaskelma. Taulukossa 8 on samaa laskentaperiaatetta noudattava 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation avulla tehty kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelma.

Taulukko 8. Taulukossa on simuloinnin perusteella tehty laskelma 10,26 kWp:n aurinkopaneelien kannattavuudesta ja säästöpotentiaalista Onnenkengän kiinteistössä. Taulukossa on ilmaistu sähköenergian säästö, sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöjen alenema ja takaisinmaksuaika. (Keski-Luopa 2020)

	Sähköenergia kWh/a	Kustannus €/a
<b>Ennen</b>		
Energia, päivä	22 1000	2 393,43
Energia, yö	16 800	1 352,4
<b>Yhteensä</b>	<b>38 900</b>	<b>3 746</b>
<b>Jälkeen</b>		
Energia, päivä	17 050	1 847
Energia, yö	16 754	1 350
Ostoenergia yhteensä	<b>33 804</b>	<b>3 197</b>
Aurinkoenergian myynti		-182
Energiakulut yhteensä		3 015
<b>Säästö</b>	<b>5 096</b>	<b>732</b>
CO <sub>2</sub> -säästö		3 058 kg/a
Investointi		14 700 €
Takaisinmaksuaika		20 a



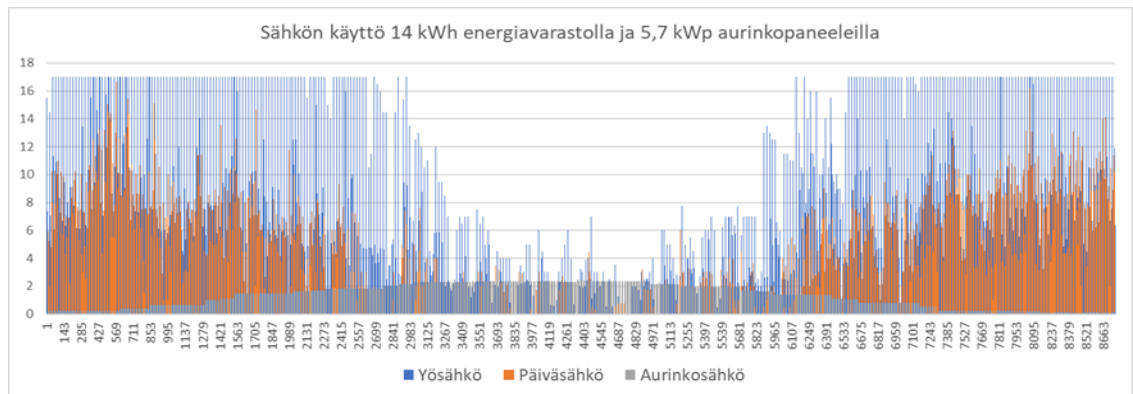
### 5.2.3 Simulaatio 5,7 kWp:n aurinkopaneeleilla ja 14 kWh:n energiavarastolla

Taulukossa 9 on ilmaistu 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden ja 14 kWh:n energiavaraston simulaation tulos kuukausittaisen ja vuosittainen sähkön kulutuksen sekä aurinkosähkön tuotannon ja myynnin osalta. Sähkön vuosikulutus oli 39 014 kWh, josta ostettavaa sähköenergiaa oli 88 %. Aurinkosähkön omakäyttöprosentiksi saavutettiin 96 %.

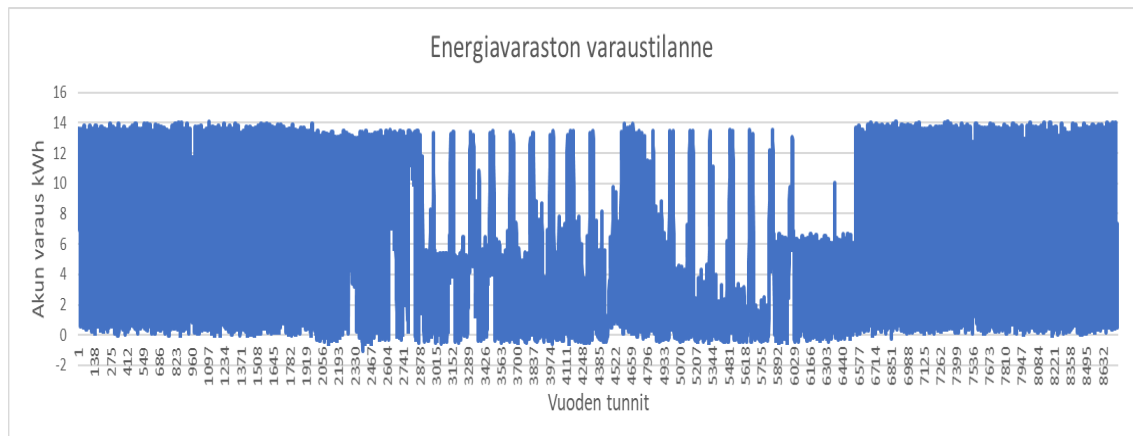
Taulukko 9. Ostettu sähköenergia ja aurinkosähkön tuotanto sekä kulutus kuukausittain käytämällä 5,7 kWp:n aurinkopaneeleita ja 14 kWh:n energiavarastoja. Ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. (Keski-Luopa 2020)

	Ostettu sähköenergia (kWh)		Aurinkosähkö (kWh)	
	Yö	Päivä	Tuotanto/kk	Myynti/kWh
Tammikuu	2 672	2 884	72	0
Helmikuu	2 166	2 017	183	0
Maaliskuu	2 399	1 618	453	0
Huhtikuu	1 763	511	554	46
Toukokuu	1 043	195	719	47
Kesäkuu	311	106	701	52
Heinäkuu	249	93	729	36
Elokuu	604	233	602	13
Syyskuu	1 395	597	413	5,5
Lokakuu	2 088	1 587	255	0
Marraskuu	2 239	2 436	72	0
Joulukuu	2 247	2 762	41	0
<b>Yhteensä (kWh)</b>	<b>19 174</b>	<b>15 044</b>	<b>4 795</b>	<b>201</b>
Ostettu energia yhteensä (kWh)	<b>34 219</b>		Omakäyttö %	<b>96 %</b>

Kuvalla 12 havainnollistetaan sähkön tuntikohtaista käyttöä ja sen muutosta vuoden tuntien perusteella. Kuvasta huomataan kesällä sähkön käytön perustuvan pääsääntöisesti aurinkosähköön ja yösähköön. Muina vuodenaikoina sähkön käyttöä pyritään ohjaamaan päivästä yöstä energiaravaston avulla. Tämä näkyy yösähkön korkeampina palkkeina. Simulaation 14 kWh:n energiaravaston tuntikohtainen varaustilanne ilmaistaan kuvassa 13.



Kuva 12. Kuvassa on 5,7 kWp:n aurinkopaneelien ja 14 kWh:n energiavarastojen simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päivästä yöstä ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020)



Kuva 13. Energiavaraston tuntikohtainen varaustilanne simulaation mukaan. Lämmityskaudella energiavarasto voidaan öisin ladata täyteen ja päivisin purkaa tyhjii. Kesällä energiavarasto täyttyy päivällä aurinkoenergiasta, joka käytetään auringon laskun jälkeen. Energiavarasto käytetään aina tyhjii aamulla, eikä sitä ladata päivällä sähköverkosta. (Keski-Luopa 2020)

Luvun 4.1.3 taulukossa 4 laskettiin ilmalämpöpumpusta saatava kannattavuus- ja säästölaskelma. Taulukossa 10 on samaa laskentaperiaatetta noudattava 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation avulla tehty kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelma.

Taulukko 10. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. Energiavarastona toimii 14 kWh:n akkupaketti. (Keski-Luopa 2020)

	Sähköenergia kWh/a	Kustannus €/a
<b>Ennen</b>		
Energia, päivä	22 1000	2 393,43
Energia, yö	16 800	1 352,4
<b>Yhteensä</b>	<b>38 900</b>	<b>3 746</b>
<b>Jälkeen</b>		
Energia, päivä	15 044	1 629
Energia, yö	19 174	1 545
Yhteensä ostoenergia	<b>34 219</b>	<b>3 175</b>
Aurinkoenergian myynti		-9,81
Yhteensä energiakulut		3 165
<b>Säästö</b>	<b>4 681</b>	<b>581</b>
CO <sub>2</sub> -säästö		2 809 kg/a
Investointi		18 060 €
Takaisinmaksuaika		31 a

Kannattavuuslaskelmasta huomaa suhteellisen päiväsähkön osuuden laske-  
neen ja yösähkön osuuden nousseen. Tämä johtuu akkujen lataamisesta yö-  
aikaan ja niiden purkamisesta päivällä sähkön kulutuksen tehohuippujen ai-  
kaan. Kysynnän jousto toimii siis osittain. Energiavaraston pienen koon takia  
päiväsähkön käyttöä ei voida suuremmassa mittakaavassa siirtää yösähkön  
käyttöön.

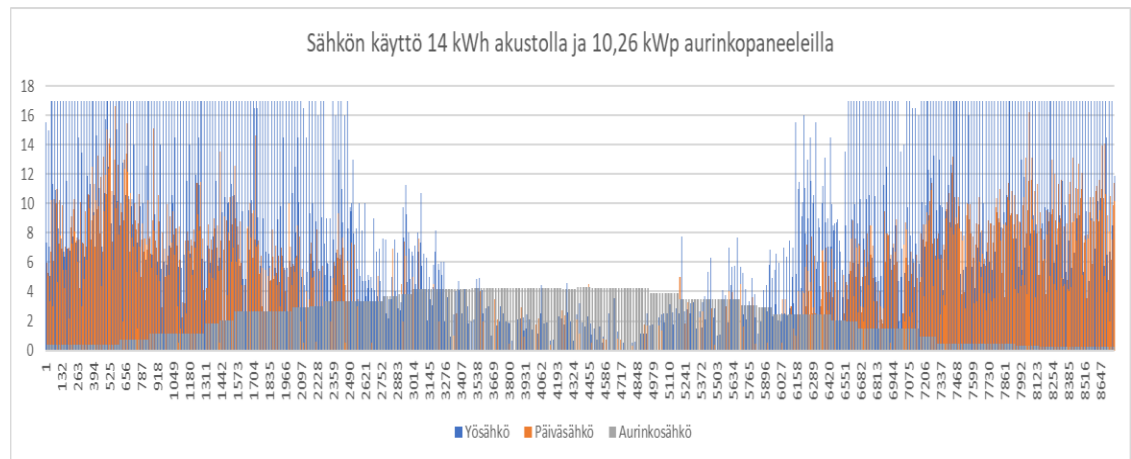
### 5.2.4 Simulaatio 10,26 kWp:n aurinkopaneeleilla ja 14 kWh:n energiavarastolla

Taulukossa 11 on ilmaistu 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden ja 14 kWh:n energiavaraston simulaation tulos kuukausittaisen ja vuosittainen sähkön kulutuksen sekä aurinkosähkön tuotannon ja myynnin osalta. Sähkön vuosikulutus oli 31 898 kWh, josta ostettavaa sähköenergiaa oli 82 %. Aurinkosähkön omakäyttöprosentiksi saavutettiin 76 %.

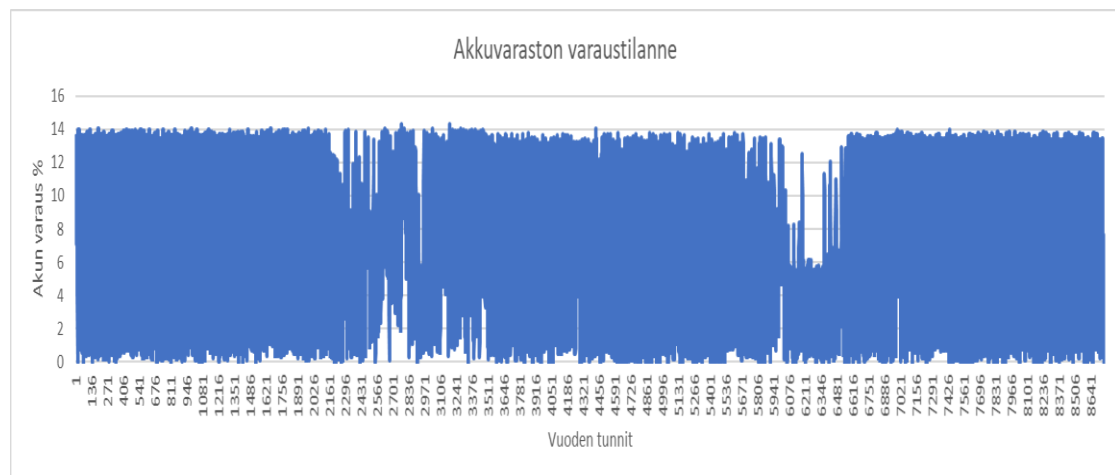
Taulukko 11. Ostettu sähköenergia ja aurinkosähkön tuotanto sekä kulutus kuukausittain käytettynä 10,26 kWp:n aurinkopaneeleita ja 14 kWh:n energiavarastoja. Ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. (Keski-Luopa 2020)

	Ostettu sähköenergia (kWh)		Aurinkosähkö (kWh)	
	Yö	Päivä	Tuotanto/kk	Myynti/kWh
Tammikuu	2 673	2 817	130	0
Helmikuu	2 168	1 852	329	0
Maaliskuu	2 393	1 282	815	14
Huhtikuu	1 519	389	997	134
Toukokuu	828	162	1 295	386
Kesäkuu	201	85	1 262	499
Heinäkuu	134	72	1 313	497
Elokuu	400	168	1 084	232
Syyskuu	1 277	409	743	31
Lokakuu	2 079	1 400	460	1
Marraskuu	2 238	2 379	130	0
Joulukuu	2 244	2 730	74	0
<b>Yhteensä (kWh)</b>	<b>18 154</b>	<b>13 743</b>	<b>8 631</b>	<b>1 793</b>
Ostettu energia yhteensä (kWh)	<b>31 898</b>		Omakäyttö %	<b>76 %</b>

Kuvalla 14 havainnollistetaan sähkön tuntikohtaista käyttöä ja sen muutosta vuoden tuntien perusteella. Kuvasta huomataan kesällä sähkön käytön perustuvan pääsääntöisesti aurinkosähkөөn ja yösähkөөn. Muina vuodenaikoina sähkön käyttöä pyritään ohjaamaan päiväsaikasta yösähkөөn energiavaraston avulla. Tämä näkyy yösähkön korkeampina palkkeina. Simulaation 14 kWh:n energiavaraston tuntikohtainen varaustilanne ilmaistaan kuvassa 15.



Kuva 14. Kuvassa on 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden ja 14 kWh:n energiavarastojen simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähkөөn, päiväsaikasta yösähkөөn ja aurinkosähkөөn. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020)



Kuva 15. Energiavaraston tuntikohtainen varaustilanne simulaation mukaan. Lämmityskaudella energiavarasto voidaan yöisin ladata täyteen ja päivisin purkaa tyhjiin. Kesällä energiavarasto täyttyy päivällä aurinkoenergiasta, joka käytetään auringon laskettua. Energiavarasto käytetään aina tyhjiin aamulla, eikä sitä ladata päivällä sähköverkosta. (Keski-Luopa 2020)

Luvun 4.1.3 taulukossa 4 laskettiin ilmalämpöpumpusta saatava kannattavuus- ja säästölaskelma. Taulukossa 12 on samaa laskentaperiaatetta noudattava 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation avulla tehty kannattavuus- ja takaisinmaksuaikalaskelma.

Taulukko 12. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. Energiavarastona toimii 14 kWh:n akkupaketti. (Keski-Luopa 2020)

	Sähköenergia kWh/a	Kustannus €/a
<b>Ennen</b>		
Energia, päivä	22 1000	2 393,43
Energia, yö	16 800	1 352,4
<b>Yhteensä</b>	<b>38 900</b>	<b>3 746</b>
<b>Jälkeen</b>		
Energia, päivä	13 743	1 488
Energia, yö	18 154	1 463
Yhteensä ostoenergia	<b>34 219</b>	<b>2 952</b>
Aurinkoenergian myynti		-88,94
Yhteensä energiakulut		2 863
<b>Säästö</b>	<b>7 002</b>	<b>885</b>
CO <sub>2</sub> -säästö		4 201 kg/a
Investointi		24 260 €
Takaisinmaksuaika		27 a

Kannattavuuslaskelmasta huomaa suhteellisen päiväsähkön osuuden laske-  
neen ja yösähkön osuuden nousseen. Tämä johtuu akkujen lataamisesta yö-  
aikaan ja niiden purkamisesta päivällä sähkön kulutuksen tehohuippujen ai-  
kaan. Kysynnän jousto toimii siis osittain. Energiavaraston pienen koon takia  
päiväsähkön käyttöä ei voida suuremmassa mittakaavassa siirtää yösähkön  
käyttöön. Simulaation tuloksissa huomaa myös yö- ja päiväsähkön käytön hin-  
taeron. Yösähköä on simulaation mukaan mennyt yli 4000 kWh päiväsähköä  
enemmän, mutta vuosikustannus on lähes sama.

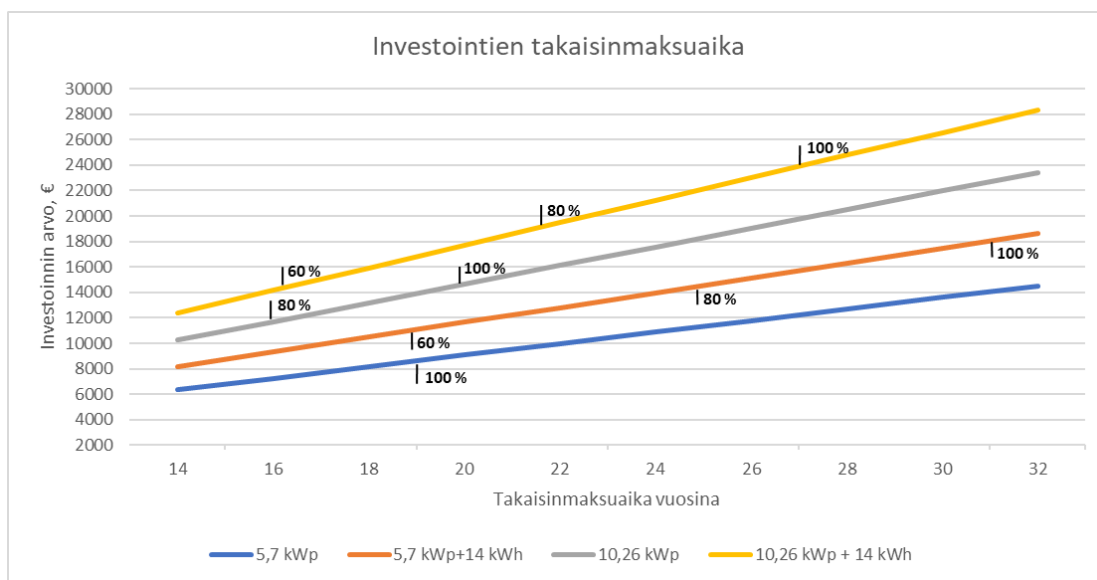
### 5.3 Energiatukien vaikutus energiainvestointien kannattavuuteen

Energiatuki edistää uusien ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä. Tavoit-  
teena on energiajärjestelmän muuttaminen pitkällä tähtäimellä vähähiiliseksi.

Harkinnanvaraista energiatukea voidaan myöntää investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä, energiansäästön tai energian tuotannon tai energian käytön tehostamiseen ja muihin muutoksiin, joilla pyritään muuten muuttamaan energiajärjestelmä vähähiiliseksi. (Energiatuki s.a)

Energiatukea voi saada kaiken kokoiset yritykset ja yhteisöt. Tukea voi saada hankkeisiin, joiden investointikustannus on vähintään 10 000 €. Aurinkosähköhankkeiden tuki on 20 %. Tapauskohtaisesti voidaan uutta teknologiaa sisältäville uusiutuviin energialähteisiin tai energiatehokkuuteen liittyville investoinneille myöntää korotettua 40 % tukea. (Energiatuki. s.a)

Kuvassa 16 on luvussa 5.2 simuloitujen investointien takaisinmaksuaika eri energiatukivaihtoehtojilla. 5,7 kWp:n aurinkosähköinvestoinnin arvo on alle 10000 €. Sille ei voi hakea yritysten ja yhteisöjen energiatukea. 10,26 kWp:n aurinkosähköinvestoinnille voi saada 20 % tukea. Investoinneille, joissa on aurinkopaneelit ja energiavarastot, voi hakea korotettua 40 %:n energiatukea. Tukien myöntäminen on harkinnan varaista.



Kuva 16. Kuvassa on investointien takaisinmaksuaika eri tukivaihtoehtojilla. 100 % tarkoittaa, että investointi toteutettaisiin ilman tukia. 80 % tarkoittaa 20 %:n energiatukea ja 60 % tarkoittaa 40 %:n energiatukea. 5,7 kWp:n aurinkosähköinvestointi ilman akkuja jää alle 10 000 € tukirajan, joten kyseiselle investoinnille ei voi hakea energiatukea. (Keski-Luopa 2020)

Tuilla on suuri merkitys uuden teknologian kehittämisessä. Kuvasta 15 huomaan aurinkopaneelien ja energiavarastojen yhdistelmän takaisinmaksuajan

ylittävän niiden laskennallisen teknisen eliniän. 20 %:n tuella päästään tekni-  
seen elinikään tai vähän sen alle. Se ei vielä houkuttele yrityksiä investoi-  
maan. Vasta 40 %:n tuilla päästään 16-19 vuoden takaisinmaksuaikaan, joka  
voi mahdollistaa yrityksen investoinnit.

Kun tarpeeksi moni asiakas on kiinnostunut investoimaan, niin yritykset kiin-  
nostuvat kehittämään tuotteita. Valmistajayritysten keskinäinen kilpailu pitää  
huolta siitä, että tuotteiden hintataso on oikea ja tuotteiden kehittäminen pitää  
huolta siitä, että hinnat laskevat. Kun kehityssykli on kestänyt tarpeeksi kauan,  
niin tuotteiden hinnat laskevat sille tasolle, jossa tukia ei enää tarvita. Näinhän  
kävi esimerkiksi tuulivoimaloille.

#### 5.4 Kysynnänjouston kehittymisen edellytykset kohdekiinteistössä

EU-direktiivissä todetaan, että kaikilla asiakasryhmillä on oltava mahdollista  
käydä kauppaa kulutusjoustollaan ja itse tuottamallaan sähköllä (Sähkön sisä-  
markkinoita koskevista yhteisistä säännöistä 2019/944/EU 2019). VTT onkin  
yhdessä Vaasan yliopiston kanssa kehittänyt tutkimushankkeessa pilottivai-  
heessa olevaa uutta markkinapaikkaa, johon pientuottajat voisivat myydä esi-  
merkiksi tuottamaansa aurinkoenergian ja osallistua kysynnänjoustoon ilman  
välikäsiä (Sähkön kulutusjouston tarve kasvaa 2019). Loppukäyttäjälle kysyn-  
nänjousto mahdollistaa sähkön käytön edullisen hinnan aikana, ostosähkön  
vähentämisen, huipputehon pienentämisen, liittymäkoon rajoittamisen ja oman  
pientuotannon täysimääräisen hyödyntämisen (Järventausta ym. 2015, 3).

Kysynnänjouston toteutuksen periaatteet kuulostavat lupaavilta, mutta lain-  
säädäntö ja kysynnänjouston pelisäännöt ovat vielä kesken. Vielä ei ole tietoa  
siitä, minkälainen verokohtelu pienasiakkaiden tuottamalla kysynnänjoustolla  
tulee olemaan. Vielä ei myöskään tiedetä, miten pientuottajia verotetaan myy-  
mästään sähköstä. Kun pientuotanto lisääntyy, niin luultavasti sen verotusta  
myös mietitään uudelleen. Vielä ei tiedetä myöskään eri toimijoiden välisen  
toiminnan pelisääntöjä ja tuottojen jakoa toimijoiden kesken.

Suurilla asiakkaila on olemassa teho- ja loistehomaksut. Myös pienasiakkai-  
den siirtomaksuihin on kehitteillä tehomaksuja (Partanen 2018,12-14). Teho-

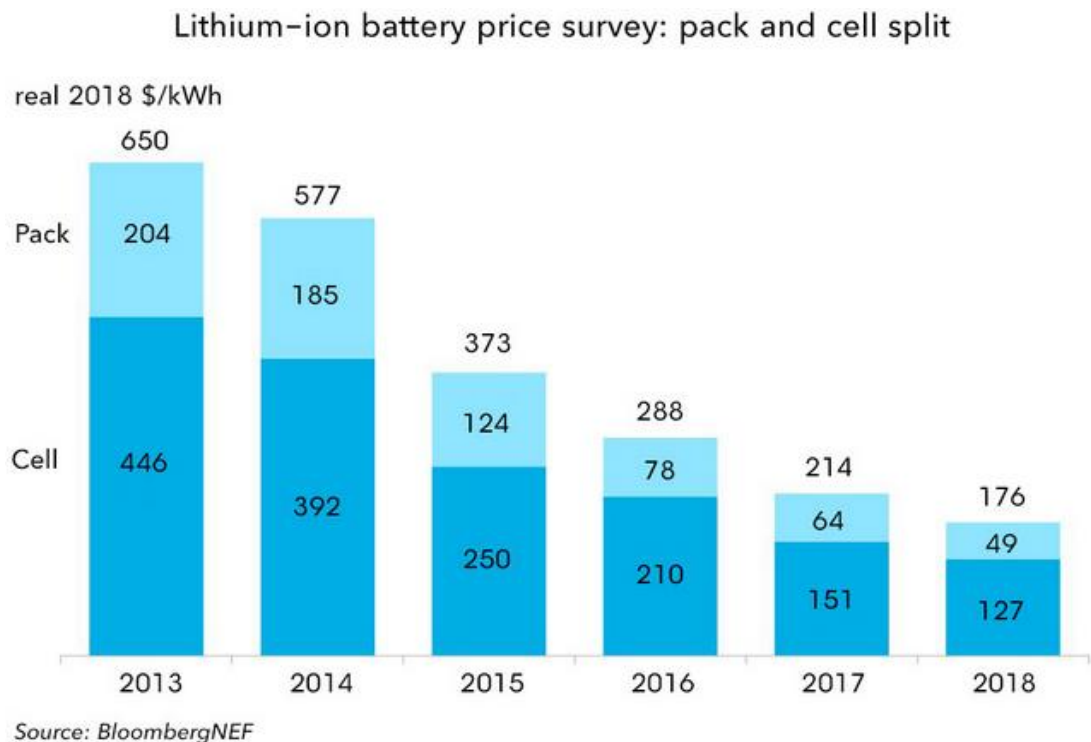


maksuja tarvitaan, jos pienasiakkaat alkavat suuressa mittakaavassa siirtämään kulutustaan edullisen sähköenergian aikoihin. Ilman niitä voi syntyä uusia verkkoa kuormittavia tehopiikkejä sellaisiin vuorokauden aikoihin, jolloin sähköön tuotanto on perinteisesti alhaisemmalla tasolla. Tehomaksujen avulla tehdään kannattamattomaksi esimerkiksi sähköautojen lataaminen suurella sähköteholla edullisen sähkönn hinnan aikoihin. Sähköjärjestelmän kannalta olisi edullisinta, jos sähkönn kulutus olisi mahdollisimman tasaista läpi vuorokauden.

Onnenkengän vuoden 2019 tehohuiput on esitelty kuvassa 7. Vuoden 2019 tehohuippujen mukaan tehomaksun määräytymisperuste olisi 19,6 kW  $\approx$  20 kW. Voimassa olevan hinnaston mukaan tehomaksu on 5,74 €/kW, kk sisältäen alv 24 % (Sähkönn siirtohinasto 2018). Jos pienkäyttäjien siirtomaksut määräytyvät jatkossa tehomaksun eikä pääsulakkeen mukaan, niin tämänhetkellä hintatasolla se merkitsisi kohteen siirtomaksujen nousemista 893,76 €/a. Tehohuippuja pienentämällä myös tehomaksun suuruus pienenee. Siitä syystä simulaatioissa sähköteho on rajattu olemaan maksimissaan 17 kW.

Pelissäntöjen ja lainsäädännön lisäksi teknologian kehittyminen luo epävarmuustekijöitä kysynnänjouston lisääntymiseen ja varsinkin energiavarastojen käytön lisääntymiseen. Uuden teknologian hintojen laskemisen ennustaminen on aina epävarmaa. Kukaan ei tiedä esimerkiksi sitä, milloin keksitään jokin alaa täysin mullistava innovaatio. Asiaan vaikuttavia tekijöitä on vaikea hahmottaa ja globaaleja toimijoita on lukemattomia. Energiavarastoina toimivien litiumakkujen hinnat ja niihin liittyvä tekniikka ovat kuitenkin laskeneet joka vuosi.

Litiumakkujen hinnat ovat laskeneet 85 % ajanjaksolla 2010–2018. BloombergNEF on laskenut litiumakkujen oppimiskäyräksi hinta- ja tuotantohistorian perusteella 18 %. Tämä tarkoittaa, että jos akkujen valmistusvolyymi kaksinkertaistuu, niin akkujen hinnat laskevat 18 %. BloombergNEF ennustaa litiumakkupakettien hintatason olevan vuonna 2024 94 \$/kWh ja vuonna 2030 niiden hinnan olevan 62 \$/kWh. Kuvassa 17 on esitelty globaali litiumakkujen hintatason kehitys vuosina 2013–2018. (Goldie-Scot 2019.)



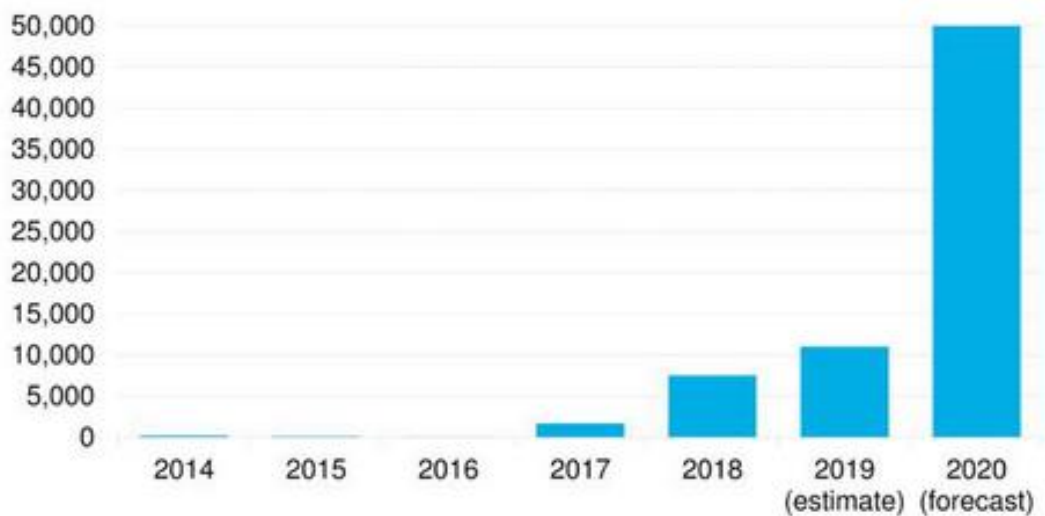
Kuva 17. Litiumakkujen ja litiumakkupakettien keskimääräinen hintakehitys vuosina 2013–2018. Hinnat sisältävät keskiarvon kaikista litiumakkutypeistä. Litiumakkujen hintojen odotetaan putoavan edelleen. Arvioitu litiumakkupakettien hintataso on vuonna 2024 94 €/kWh ja vuonna 2030 niiden hinnan olevan 64 \$/kWh. (Goldie-Scot 2019)

Teslan akut ovat toimintavarmoja mutta hinnakkaita. Niiden hinta nostaa suuren volyyminsa vuoksi edellä mainittua hintatasoa. Simulaatioissa käytetyn Teslan akkupaketin veroton hinta oli Suomessa 550 €/kWh. Markkinoilta löytyy paljon edullisempia litiumakkupaketteja. Niiden valmistajien tuottama laatu nousee koko ajan, mutta hinnat laskevat volyymin kasvaessa. On vain ajan kysymys, milloin hintataso putoaa Suomessa litiumakkupakettien osalta niin alas että kysynnän jousto energiavarastojen avulla tulee kannattavaksi.

Kaliforniassa ennustetaan vuonna 2020 myytävän yksityistalouksiin 50000 akkujärjestelmää. Vuoden 2019 lopussa Kaliforniassa oli yli miljoonassa taloudessa aurinkopaneelit, mutta energiavarasto vain 19000 taloudessa. Myynnin kasvu liittyy siihen, että kotitaloudet haluavat varautua sellaisiin sähkökatkoksiin, jotka koskivat mm. 1,1 miljoonaa taloutta vuonna 2019. Kuvassa 18 on ilmaistu Kalifornian energiavarastojen asennusten määrä vuosina 2014–2020. (BloombergNEF 2020.)

## California residential energy storage installations

Number of systems



Source: BloombergNEF, EIA Form 861M

Kuva 18. Kalifornian kotitalouksien energiavarastojen asennusten määrä vuosina 2014–2020. Asennusten määrän kasvu liittyy Kaliforniassa tapahtuneisiin sähkökatkoksiin, jotka koskivat yli miljoonaa kotitaloutta vuonna 2019. (BloombergNEF 2020)

Koska litiumakut ovat vielä tällä hetkellä ainakin Suomessa liian kalliita, niin päättötyön jälkeen simulointia kehitetään ottamalla mukaan energiakatselmuksessa ehdotettu ilmalämpöpumppu. Uusi simulaatio tehdään ilmalämpöpumpulla ja aurinkopaneeleilla. Simulaation tarkoituksena on selvittää, minkälaisia vaikutuksia kannattavuuteen syntyy, kun päättötyön simulaatioissa esiintyvä kesällä myytävä aurinkosähkö käytettäisiinkin kiinteistön jäähdytykseen. Jäähdytykselle päiväkodissa koetaan olevan tarvetta. Lämmityskaudella ilmalämpöpumppu vähentää lämmitykseen ostettavaa sähköenergian määrää. Energiavarasto voidaan liittää järjestelmään jälkeinpäin kysynnänjouston toteuttamiseksi.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Energia-alalla vaikuttaa mm. ilmastonmuutoksen torjunnan aiheuttama energiamurros. Energiamurroksen onnistuminen vaatii nykyisen energiatuotannon muutosta fossiilisten polttoaineiden käytöstä uusiutuvaan energiaan. Lisäksi pitää mahdollistaa asiakkaiden osallistumisen itse oman tuottamansa uusiutuvan energianmyyntiin ja kulutuksenjoustoon. EU-lainsäädännössä mahdollistetaan pienimuotoinen kulutuksenjouston myynti ja energiayhteisöjen perustaminen. Kansallinen lainsäädäntömme on tässä asiassa keskeneräinen. Jotta kysynnänjousto lisääntyisi, on pelisäännöt ja lainsäädäntö saatava ajan tasalle. Lisäksi asiakkaiden tietoa kysynnänjoustosta tulisi lisätä.

Asiakkaille on myös tarjottava kannusteita kysynnänjoustoon osallistumiseen. Taloudellisten kannusteiden lisäksi on painotettava kysynnänjouston merkitystä koko sähköjärjestelmän käyttövarmuudelle ja uusiutuvan energiantuotannolle. Kysynnän jouston tulee olla kannattavaa kaikille osapuolille, joko suoraan tai välillisesti.

Kuluttajan aktiivisuutta kysynnänjouston suhteen tarvitaan lähinnä hankintapäätöksissä ja etäohjauksessa. Kuluttajat ja myös sähköyhtiöt haluavat, että kotien kulutusta ohjataan automaattisesti ja huomaamatta. Kuluttajat eivät halua muuttaa sähkön kulutustottumuksiaan kulutuksenjouston takia. Suomessa saunotaan lauantaina ja ruoka valmistetaan arkipäivisin alkuillasta. Näiden tottumusten muuttaminen on vaikeaa ja sen ei pitäisi olla edes tarpeellista.

Yrityksille uusiutuvan energiantuotanto ja kysynnänjoustoon osallistuminen voivat tuoda imagoetua ympäristöystävällisen brändin takia. Imagovaikutus voi lisätä yrityksen myyntiä. Myös työntekijät haluavat usein tulla töihin ympäristöystävälliseen työpaikkaan. Näin ollen energiatehokkuutta, kysynnänjoustoa tai uusiutuvan energiantuotantoa lisääviä investointeja ei yrityksissä kannata arvioida pelkästään investointien suorien taloudellisten vaikutusten kautta.

Toimisto- ja palvelukiinteistöjen sähkön kulutustarpeet vaihtelevat rakennuksen käyttötarkoituksen, rakennusajankohdan ja teknisten ratkaisujen pohjalta. Tässä päättötyössä simuloitiin uusiutuvan energiantuotannon ja kysynnän-

jouston kannattavuutta päiväkodissa, jonka lämmitysmuotona on suora lattiasähkölämmitys. Simulointi tehtiin simulaatioon valittujen aurinkopaneeleiden (5,7 kWp, 10,26 kWp) ja energiavaraston (14 kWh) avulla. Simulointi perustui päiväkodin vuoden 2019 tuntikohtaiseen sähköenergian käyttöön. Simuloinnin tuloksia voidaan käyttää hyödyksi myös muissa saman kulutusprofiilin omaavissa kiinteistöissä.

Simulaation perusteella kysynnänjousto ei ole vielä energiavarastojen avulla kannattavaa. Tämä johtuu liian korkeasti litiumakkupaketien hinnoista. Lyijyakkuteknologiaa simulaatioon ei edes harkittu. Kiinteistön energiajärjestelmään, joka sisältää litiumakut ja aurinkopaneelit, on ehkä mahdollista saada 40 % energia-avustus. Asiaa ei kuitenkaan päättötyötä varten kysytty, sillä yri- tysten energia-avustus on aina tapauskohtaista ja harkinnan varaista. 40 % tuilla yhdistelmän takaisinmaksuajaksi tuli 16-19 vuotta. Tämä on liian pitkä takaisinmaksuaika, jos ei oteta imago vaikutuksia huomioon.

Päättötyön simulaatioiden ulkopuolella tehtiin simulaatio myös energiavarastona toimivalla 100 kWh:n litiumakkupaketilla ja aurinkopaneeleilla. Simulaation tuloksena ostetun sähköenergian käytöstä noin 90 % saatiin siirretyksi yö- sähköön ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti oli 99 %. Simulaation perusteella kohdekiinteistön kysynnänjousto onnistuu loistavasti 100 kWh energia- varastolla. Myös aurinkosähkö pystytään käyttämään kokonaan itse.

Litiumakkupaketien hinta on edelleen laskussa tuotantovolyymin noustessa. Niiden toimintavarmuus myös paranee ja odotettu elinikä nousee. Kalifornian kotitalouksien energiavarastojen asennusten ennustetaan nelinkertaistuvan vuonna 2020 (BloombergNEF 2020). Se on vain ajan kysymys, milloin li- tiumakkujen hinnat laskevat ja toimintavarmuus nousee sille tasolle, että niitä kannattaa käyttää kiinteistöissä kysynnän jouston välineenä.

## LÄHTEET

Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20 kuukauden päästövähentäjä. 2019. Hiilineutraalisuomi.fi. 15.5.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Asunto\\_Oy\\_Tampereen\\_Pohjolankatu\\_1820\\_ku](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Asunto_Oy_Tampereen_Pohjolankatu_1820_ku) [viitattu 14.2.2020].

Aurinkopaneelit yritykseen. s.a. Kymenlaakson Sähkö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/aurinkosahko/aurinkopaneelit-yritykseen> [Viitattu 29.4.2020].

California household battery sales to quadruple in 2020. 2020. BloombergNEF 10.2.2020. WWW- dokumentti. Saatavissa: <https://about.bnef.com/blog/california-household-battery-sales-to-quadruple-in-2020/> [Viitattu 8.5.2020].

CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2012. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/fi-les/16063/CO2-laskentaohje\\_-\\_Yhteenvedot.pdf](https://www.motiva.fi/fi-les/16063/CO2-laskentaohje_-_Yhteenvedot.pdf) [Viitattu 29.4.2020].

Day-ahead prices. s.a. Nordpool. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/FI/Hourly/?dd=FI&view=table> [viitattu 30.4.2020].

Energiatuki. s.a. Business Finland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/energiatuki/> [Viitattu 4.5.2020].

Goldie-Scot, L. 2019 . A Behind the Scenes Take on Lithium-ion Battery Prices. BloombergNEF 5.3.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/> [Viitattu 7.5.2020].

Holopainen, H. 2019. Kalajoella kyllästytettiin kohtuuttomiin sähkön siirtohintoihin – haaveissa on oma sähköverkko, mutta siirtoyhtiöiden monopoli tekee siitä hankalaa. *Yle-uutiset* 1.10.2019. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10988565> Viitattu [18.2.2020].

Hyysalo, S., Marttila, T., Temmes, A., Lovio, R., Kivimaa, P., Auvinen, K., Pyhälä, A., Lukkarinen, J. & Peljo, J. 2017. Uusia näkymiä energiamurroksen Suomeen- Murrosareenan tuottamia kunnianhimoisia energia- & ilmastotoimia vuosille 2018–2030. Yhteenvedoraportti energiamurrosareenaprosessista. Smart Energy Transition. 28.11.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.smartenergytransition.fi/tiedostot/murrosareena-loppuraportti.pdf> [viitattu 3.3.2020].

Ikävalko, K. 2019. Sitra: Punainen liha pannaan ja omat autot vapaa-ajalla kotiin – ilman ennennäkemättömän kovia tekoja ilmastotavoite karkaa Suomessa. 2019. *Yle-uutiset* 23.5.2019. Saatavissa : <https://yle.fi/uutiset/3-10784895> Viitattu [18.2.2020].

Ilmalämpöpumppu. 2018. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/remontoi\\_ja\\_huolla/energiatohokas\\_sahkolammitys/lampopumpun\\_hankinta/ilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/energiatohokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilmalampopumppu) [Viitattu 29.4.2020].

Interactive tools. s.a. Photovoltaic geographical information system. European commission. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html) [Viitattu 29.4.2020].

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli). Loppuraportti. Tampereen teknillinen yliopisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnan\\_jousto\\_loppuraportti.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/4776899/kysynnan_jousto_loppuraportti.pdf) [viitattu 12.2.2020].

Katriina, A. Mäenpää, I. Nissinen, A. Nurmela, J. Salo, M. Savolainen, H. 2019. Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö. ENVIMAT- mallinnuksen tuloksia. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2019. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/300737/SYKEra\\_15\\_2019\\_korjattu\\_26\\_02\\_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/300737/SYKEra_15_2019_korjattu_26_02_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y) [viitattu 4.2.2020].

Korpijärvi, J. 2015. Sähkön kuluttajasta voi tulla myös sähkön tuottaja. *Yle-uutiset* 27.1.2015. Saatavissa : <https://yle.fi/uutiset/3-7753118> Viitattu [3.2.2020].

Lämmitystapojen vertailulaskuri. 2017. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/> [Viitattu 29.4.2020].

Online. s.a. Kymenlaakson Sähkö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://online2.ksoy.fi/> [Viitattu 29.4.2020].

Orrberg, M. 2017 . Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa oikein. Sähköala.fi 6.10.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.sahkoala.fi/ammatillaiset/artikkelit/aurinkoenergia/fi\\_FI/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/](https://www.sahkoala.fi/ammatillaiset/artikkelit/aurinkoenergia/fi_FI/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/) [Viitattu 4.5.2020].

Palvelusektorin kulutuksia. s.a. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/15570/Palvelusektorin\\_ominaiskulutukset\\_2011-2017.pdf](https://www.motiva.fi/files/15570/Palvelusektorin_ominaiskulutukset_2011-2017.pdf) [Viitattu 30.3.2020].

Partanen, J. 2018. Sähkön siirtohinnot ja toimitusvarmuus. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia 43/2018. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43\\_18\\_Sahkonsiirtohinnot\\_ja\\_toimintavarmuus.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161178/43_18_Sahkonsiirtohinnot_ja_toimintavarmuus.pdf) [viitattu 15.3.2020].

Pientuotannon siirtohinnoista. 2016. Kymenlaakson Sähkö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/asiakaspalvelu/hinnastot/pientuotannon-siirtohinnoista> [Viitattu 29.4.2020].

Powerwall. s.a. Tesla. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.tesla.com/fi\\_FI/powerwall](https://www.tesla.com/fi_FI/powerwall) [Viitattu 29.4.2020].

Reservituotteet ja reservien markkinapaikat. 2019. Fingrid. Julkinen esitysmateriaali 2.12.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf> [viitattu 2.3.2020].

Suomen virallinen tilasto. 2018. Sähkön ja lämmön tuotanto. WWW-dokumentti. ISSN=1798-5072. 2018. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/salatuo/2018/salatuo\\_2018\\_2019-11-01\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/salatuo/2018/salatuo_2018_2019-11-01_tie_001_fi.html) [viitattu 13.5.2020].

Sähkön hankinta ja kulutus. 2019. Motiva. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto suomen sahkon hankinta ja kulutus> [Viitattu 15.5.2020].

Sähkön siirtohinnoista. 2018. Kymenlaakson Sähkö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ksoy.fi/sahkon-myynti/asiakaspalvelu/hinnastot/sahkon-siirtohinnoista-1.1.2018> [Viitattu 29.4.2020].

Sähkön sisämarkkinoita koskevista yhteisistä säännöistä 2019/944/EU. 2019. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944&from=EN> [viitattu 4.3.2020].

Sähkön kulutusjoustopien tarve kasvaa – nyt pilotoitava markkinapaikka tehostaisi joustoressurssien käyttöä. 2019. VTT. 17.12.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/sahkon-kulutuspoustopien-tarve-kasvaa> [viitattu 3.3.2020].

Taajuusohjatuksen käyttö- ja häiriöreservin vuosimarkkinasopimus. 2019. Fingrid Oyj. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/taajuusohjattujen-reservien-vuosimarkkinasopimus-2019.pdf> [viitattu 2.3.2020].

Tanskanen, J. 2020. Taloyhtiö vaihtoi kaukolämmön maalämpöön, säästää 24 000 euroa vuodessa ja yllättyi – asuntojen hinnat lähtivät merkittävään nousuun. *Yle-uutiset* 4.2.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://yle.fi/uutiset/3-11191581?fbclid=IwAR1wRXRrA2CjpT-FoGaBPN2ce5YpS6NP6DlozTG76ksBEdmwx6Lolfs\\_9y08](https://yle.fi/uutiset/3-11191581?fbclid=IwAR1wRXRrA2CjpT-FoGaBPN2ce5YpS6NP6DlozTG76ksBEdmwx6Lolfs_9y08) [viitattu 3.3.2020].



## KUVALUETTELO

Kuva 1. LUT:n ja Järvi-Suomen Energia Oy:n tutkimushankkeessa LVDC-tasasähköjärjestelmä. Järjestelmä toimii mikroverkkona vikatilanteissa akkuvaraston, paikallisen tuotannon ja kuormien ohjauksen avulla. (Partanen J. 2018, 56) .....	11
Kuva 2. Sähkön tuntihinnan määräytyminen tukkumarkkinoilla muuttuvien tuotantokustannusten mukaisesti. Hinta määräytyy kysynnän ja kalleimman käytössä olevan sähkön tuotantomuodon mukaan. (Kuva mukaillen Järventausta ym. 2015, 17) .....	17
Kuva 3. Suomen sähkön kulutus vuosina 2017–2018. Koti- ja maataloudet kattoivat noin 28 % Suomen sähkönkulutuksesta vuosina 2017–2018. (Sähkön hankinta ja kulutus 2019) .....	19
Kuva 4. Kysynnän jouston tilanne Suomessa 18.1.2018. Hankinta on markkinaehtoista kotimaisen tuotanto- ja kulutuskapasiteetin osallistuessa halutessaan reservien ylläpitoon. (Reservituotteet ja reservien markkinapaikat 2019, 18).....	20
Kuva 5. VTT:n ja Vaasan yliopiston reaaliaikainen kysynnänjouston markkinapaikka. Markkinapaikka on tarkoitettu pientuottajille, jotka haluavat myydä tuottamaansa energiaa ilman välikäsiä ja se on pilottivaiheessa. (Sähkön kulutusjouston tarve kasvaa 2019) .....	24
Kuva 6. Kuvassa on Onnenkengän sähköenergiamaksujen prosentuaalinen jakauma vuodelta 2019. Maksut jakautuvat perusmaksuihin ja energiamaksuihin. (Keski-Luopa 2020.) .....	27
Kuva 7. Kuvassa on Onnenkengän kuukausittainen sähköenergian kulutusjakauma vuosina 2017-2019. Yöllä ja päivällä käytetty sähköenergia on yhdistetty yhdeksi kulutukseksi. (Keski-Luopa 2020) .....	28

Kuva 8. Onnenkengän kulutuksen sähköteho tuntitasolla 2019. Tehot on haettu Kymenlaakson Sähkön online-palvelun kautta. Kaksi suurinta kulutuspiikkiä on merkitty kuvaan. (Keski-Luopa 2020) .....29

Kuva 9. Päiväkoti Onnenkengän vuoden 2019 sähkönkulutus pysyvyyskäyrämuodossa ja simulaatioon valittujen aurinkopaneeleiden sähkön vuosituotanto vuoden tunneille jaettuna. 1 on 5,7 kWp aurinkopaneelit, joiden arvioitu vuosituotanto on 4795 kWh. 2 on 10,26 kWp aurinkopaneelit, joiden arvioitu vuosituotanto on 8631 kWh. (Keski-Luopa 2020.) .....32

Kuva 10. Kuvassa on 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päivä sähköön ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020) .....38

Kuva 11. Kuvassa on 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päivä sähköön ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020) .....40

Kuva 12. Kuvassa on 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden ja 14 kWh:n energiavarastojen simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päivä sähköön ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020) .....42

Kuva 13. Energiavaraston tuntikohtainen varaustilanne simulaation mukaan. Lämmityskaudella energiavarasto voidaan öisin ladata täyteen ja päivisin purkaa tyhjiin. Kesällä energiavarasto täyttyy päivällä aurinkoenergiasta, joka käytetään auringon laskun jälkeen. Energiavarasto käytetään aina tyhjiin aamulla, eikä sitä ladata päivällä sähköverkosta. (Keski-Luopa 2020) .....42

Kuva 14. Kuvassa on 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden ja 14 kWh:n energiavarastojen simulaation tuntikohtainen sähkönkäyttö. Sähkönkäyttö on jaettu yösähköön, päivä sähköön ja aurinkosähköön. Palkkien korkeudet näyttävät sähkön käytön eri vuodenaikoina. (Keski-Luopa 2020) .....45

Kuva 15. Energiavaraston tuntikohtainen varaustilanne simulaation mukaan. Lämmityskaudella energiavarasto voidaan yöisin ladata täyteen ja päivisin purkaa tyhjiin. Kesällä energiavarasto täyttyy päivällä aurinkoenergiasta, joka käytetään auringon laskettua. Energiavarasto käytetään aina tyhjiin aamulla, eikä sitä ladata päivällä sähköverkosta. (Keski-Luopa 2020).....45

Kuva 16. Kuvassa on investointien takaisinmaksuaika eri tukivaihtoehdoilla. 100 % tarkoittaa että investointi toteutettaisiin ilman tukia. 80 % tarkoittaa 20 %:n energiatukea ja 60 % tarkoittaa 40 %:n energiatukea. 5,7 kWp:n aurinkosähköinvestointi ilman akkuja jää alle 10 000 € tukirajan, joten kyseiselle investoinnille ei voi hakea energiatukea. (Keski-Luopa 2020) .....47

Kuva 17. Litiumakkujen ja litiumakkupakettien keskimääräinen hintakehitys vuosina 2013–2018. Hinnat sisältävät keskiarvon kaikista litiumakkutypeistä. Litiumakkujen hintojen odotetaan putoavan edelleen. Arvioitu litiumakkupakettien hintataso on vuonna 2024 94 €/kWh ja vuonna 2030 niiden hinnan olevan 64 \$/kWh. (Goldie-Scot 2019).....50

Kuva 18. Kalifornian kotitalouksien energiavarastojen asennusten määrä vuosina 2014–2020. Asennusten määrän kasvu liittyy Kaliforniassa tapahtuneisiin sähkökatkoksiin, jotka koskivat yli miljoonaa kotitaloutta vuonna 2019. (BloombergNEF 2020).....51

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Rakennuskannan keskimääräinen sähkötehon tarve lämmityskaudella. Lämmityskaudella keskimääräinen ulkolämpötila on 0 °C. (Järventausta ym. 2015, 27) .....	18
Taulukko 2. Suomessa käytössä olevien reservituotteiden vertailu niiden ominaisuuksien ja hintatason mukaisesti vuonna 2019. Reservituotteet hankitaan tunti- tai vuosimarkkinoilla. Niiden aktivointiaika ja minimitarjous vaihtelevat reservin käyttötarkoituksen mukaan. (Reservituotteet ja reservien markkinapaikat 2019, 6-13) .....	22
Taulukko 3. Taulukossa Onnenkengän sähköenergian kustannusjakauma vuodelta 2019. Perusmaksut sekä yöllä ja päivällä käytetty sähköenergia on eroteltu omiksi kustannuksikseen. Laskennassa on käytetty +alv 24 % hintoja, sillä varhaiskasvatus on arvonnalisäverotonta toimintaa, joten sitä ei voi vähentää. (Keski-Luopa 2020.) .....	27
Taulukko 4. Taulukossa on laskelma ilmalämpöpumpun kannattavuudesta ja säästöpotentialista Onnenkengän kiinteistössä. Laskelman tuloksena saadaan investoinnin takaisinmaksuaika. (Keski-Luopa 2020) .....	30
Taulukko 5. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. (Keski-Luopa 2020) .....	37
Taulukko 6. Taulukossa on simuloinnin perusteella tehty laskelma 5,7 kWp:n aurinkopaneelien kannattavuudesta ja säästöpotentialista Onnenkengän kiinteistössä. Taulukossa on ilmaistu sähköenergian säästö, sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöjen alenema ja takaisinmaksuaika. (Keski-Luopa 2020) .....	38

Taulukko 7. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. (Keski-Luopa 2020) .....39

Taulukko 8. Taulukossa on simuloinnin perusteella tehty laskelma 10,26 kWp:n aurinkopaneelien kannattavuudesta ja säästöpotentiaalista Onnenkengän kiinteistössä. Taulukossa on ilmaistu sähköenergian säästö, sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöjen alenema ja takaisinmaksuaika. (Keski-Luopa 2020) .....40

Taulukko 9. Ostettu sähköenergia ja aurinkosähkön tuotanto sekä kulutus kuukausittain käyttämällä 5,7 kWp:n aurinkopaneeleita ja 14 kWh:n energiavarastoja. Ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. (Keski-Luopa 2020) .....41

Taulukko 10. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 5,7 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. Energiavarastona toimii 14 kWh:n akkupaketti. (Keski-Luopa 2020) .....43

Taulukko 11. Ostettu sähköenergia ja aurinkosähkön tuotanto sekä kulutus kuukausittain käytettynä 10,26 kWp:n aurinkopaneeleita ja 14 kWh:n energiavarastoja. Ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. (Keski-Luopa 2020) .....44

Taulukko 12. Taulukossa on ilmaistu ostetun sähköenergian kulutus sekä aurinkosähkön kuukausittainen tuotanto ja myynti. Kuvassa ilmaistaan myös ostetun sähköenergian vuosikulutus ja aurinkosähkön omakäyttöprosentti. Aurinkosähkö tuotetaan 10,26 kWp:n aurinkopaneeleiden avulla. Energiavarastona toimii 14 kWh:n akkupaketti. (Keski-Luopa 2020) .....46

TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖN  
TUKEMA ENERGIAKATSELMUSHANKE

Dnro:

Päätöksen pvm:

**ENERGIAKATSELMUSRAPORTTI  
KIINTEISTÖN ENERGIAKATSELMUS**

**Päiväkoti Onnenkenkä Oy**

Lautsillantie 25  
16320 PENNALA

Katselmuksen ajankohta:

13.2-4.3.2020

Raportin päiväys: 12.4.2020

Tilaaajan yhteyshenkilö:

Sanna Keski-Luopa

Katselmuksen tekijät:

Xamk, Kotka

Mika Keski-Luopa

(ENKT17SM)

Puh. 0405944487

**Energiakatselmusprojekti  
projektityö**

**SISÄLLYS**

ESIPUHE .....	2
SISÄLLYS .....	3
1 YHTEENVETO KOHTEN ENERGIATALOUESTA JA SUOSITELLUISTA TOIMENPITEISTÄ .....	6
2 KOHTEN ENERGIÄKÄYTÖN NYKYTILA .....	11
2.1 Kohteen tiedot .....	11
2.2 Energian ja veden hankinta .....	12
2.3 Energian ja veden kulutus .....	13
2.3.1 Lämpöenergian kulutus .....	13
2.3.2 Sähköenergia .....	15
2.3.3 Veden kulutus .....	22
2.4 Kiinteistön käyttö ja ylläpito .....	24
2.4.1 Käyttö- ja huolto-organisaatio .....	24
2.4.2 Kulutusseuranta .....	24
2.4.3 Tekniset asiakirjat .....	25
3 KOHTEN ENERGIATALOUDEN ARVIOINTI .....	26
3.1 Lämmitysjärjestelmät .....	26
3.1.1 Yleistä .....	26
3.1.2 Energian mittaus .....	26
3.1.3 Lämmöntuotanto ja uusiutuvan energian käyttömahdollisuus .....	26
3.1.4 Lämmönjakelu .....	27
3.2 Vesi- ja viemärijärjestelmät .....	28
3.2.1 Yleistä .....	28
3.2.2 Veden mittaus .....	28
3.2.3 Lämpimän käyttöveden energiatalous .....	28
3.2.4 Vesi- ja viemärikalusteet sekä vesijohtoverkoston painetaso .....	29
3.3 Ilmanvaihtojärjestelmät .....	30

3.3.1	Yleistä .....	30
3.3.2	Ilmanvaihtokoneet .....	30
3.4	Jäähdytysjärjestelmät .....	35
3.4.1	Ilmanvaihdon ja huonetilan jäähdytys .....	35
3.4.2	Muu jäähdytys mm. kylmäsäilytys .....	35
3.5	Sähköjärjestelmät .....	36
3.5.1	Yleistä .....	36
3.5.2	Energian mittaus .....	36
3.5.3	Sähkön hankinta .....	36
3.5.4	Sähkön kulutus ja energiatehokkuus laiteryhmittäin .....	36
3.6	Muut järjestelmät .....	43
3.7	Rakennusautomaatio .....	43
3.7.1	Yleistä .....	43
3.7.2	Rakennusautomaation toimintakunto ja hyödyntäminen .....	43
3.8	Rakenteet .....	43
3.8.1	Ikkunat .....	43
3.8.2	Ulko-ovet .....	43
3.8.3	Ulkovaippa .....	44
	EHDOTETUT TOIMENPITEET .....	45
4.1	Lämmitysjärjestelmät .....	46
4.1.1	Lämmöntuotanto .....	46
4.1.2	Lämmönjakelu .....	48
4.1.3	Muut lämmitysjärjestelmien toimenpide-ehdotukset .....	49
4.2	Vesi- ja viemärijärjestelmät .....	49
4.2.1	Vesijohtoverkoston painetaso .....	49
4.2.2	Vesi- ja viemärikalusteiden virtaamat/huuhtelumäärät .....	49
4.2.3	Muut vesi- ja viemärijärjestelmien toimenpide-ehdotukset .....	51
4.3	Ilmanvaihtojärjestelmät .....	51



4.3.1	Tarpeenmukainen ilmanvaihto .....	51
4.3.2	Säätöjärjestelmät .....	54
4.3.3	Lämmöntalteenotto (LTO) .....	54
4.3.4	Kostutus .....	54
4.3.5	Yötuuletus .....	54
4.3.6	Muut ilmanvaihtojärjestelmien toimenpide-ehdotukset .....	54
4.4	Jäähdytysjärjestelmät .....	55
4.4.1	Jäähdytyksen tarpeenmukainen käyttö .....	55
4.4.2	Lauhdutus ja lauhdelämmön talteenotto .....	55
4.4.3	Vapaajäähdytys .....	55
4.4.4	Kylmiöiden ja pakkashuoneiden lämpötilat .....	55
4.4.5	Putkisto- ja säiliöeristykset .....	55
4.4.6	Muut kylmätekniikan järjestelmien toimenpide-ehdotukset .....	55
4.5	Sähköjärjestelmät .....	55
4.5.1	Siirto- ja myyntitariffit .....	55
4.5.2	Valaistus .....	56
4.5.3	LVI- laitteet .....	57
4.5.4	Sähkölämmitykset .....	57
4.5.5	Muut sähköjärjestelmät .....	58
4.6	Muut järjestelmät .....	58
4.7	Rakennusautomaatio .....	58
4.8	Rakenteet .....	58
4.8.1	Vuotoilmanvaihto .....	58
4.8.2	Johtumishäviöt .....	58
4.8.3	Muut rakenteisiin liittyvät toimenpide-ehdotukset .....	58
4.9	Muut ehdotukset ja havainnot .....	59
LÄHTEET .....		60



10,26 kWP				AC/DC -muunnos hyötysuhde Aurinkosähkön teho kWP				95 % 10,26											
Todellinen kulutus vuonna 2019				kWh				kWh				kWh							
				TUNTIKOKITAINEN SÄHKÖNKULUTUS				OSTETTU ENERGIA YÖ PÄIVÄ				AURINKOSÄHKÖ TUOTANTO MYNNÄT							
Aikaan	Saakka																		
1.1.2019 0:00	1.1.2019 1:00	1,93	1,93																
1.1.2019 1:00	1.1.2019 2:00	7,35	7,35																
1.1.2019 2:00	1.1.2019 3:00	7,34	7,34																
1.1.2019 3:00	1.1.2019 4:00	2,68	2,68																
1.1.2019 4:00	1.1.2019 5:00	1,32	1,32																
1.1.2019 5:00	1.1.2019 6:00	1,61	1,61																
1.1.2019 6:00	1.1.2019 7:00	3,64	3,64																
1.1.2019 7:00	1.1.2019 8:00	3,18		3,18															
1.1.2019 8:00	1.1.2019 9:00	1,92		1,92															
1.1.2019 9:00	1.1.2019 10:00	1,78		1,36	0,42														
1.1.2019 10:00	1.1.2019 11:00	5,26		4,84	0,42														
1.1.2019 11:00	1.1.2019 12:00	5,93		5,51	0,42														
1.1.2019 12:00	1.1.2019 13:00	1,91		1,49	0,42														
1.1.2019 13:00	1.1.2019 14:00	1,71		1,29	0,42														
1.1.2019 14:00	1.1.2019 15:00	2,21		1,79	0,42														
1.1.2019 15:00	1.1.2019 16:00	2,53		2,11	0,42														
1.1.2019 16:00	1.1.2019 17:00	5,25		4,83	0,42														
1.1.2019 17:00	1.1.2019 18:00	6,47		6,05	0,42														
1.1.2019 18:00	1.1.2019 19:00	6,99		6,57	0,42														
1.1.2019 19:00	1.1.2019 20:00	5,04		5,04															
1.1.2019 20:00	1.1.2019 21:00	1,92		1,92															
1.1.2019 21:00	1.1.2019 22:00	1,48		1,48															
1.1.2019 22:00	1.1.2019 23:00	5,1		5,1															
1.1.2019 23:00	2.1.2019 0:00	1,97		1,97															
2.1.2019 0:00	2.1.2019 1:00	2,35		2,35															
2.1.2019 1:00	2.1.2019 2:00	2,97		2,97															
2.1.2019 2:00	2.1.2019 3:00	7,03		7,03															
2.1.2019 3:00	2.1.2019 4:00	6,66		6,66															
2.1.2019 4:00	2.1.2019 5:00	2,52		2,52															
2.1.2019 5:00	2.1.2019 6:00	1,74		1,74															
2.1.2019 6:00	2.1.2019 7:00	5,07		5,07															
2.1.2019 7:00	2.1.2019 8:00	5,54		5,54															
2.1.2019 8:00	2.1.2019 9:00	2,97		2,97															
2.1.2019 9:00	2.1.2019 10:00	3,95		3,53	0,42														
2.1.2019 10:00	2.1.2019 11:00	3,35		2,93	0,42														
2.1.2019 11:00	2.1.2019 12:00	4,4		3,98	0,42														
2.1.2019 12:00	2.1.2019 13:00	4,78		4,36	0,42														
2.1.2019 13:00	2.1.2019 14:00	2,1		1,68	0,42														
2.1.2019 14:00	2.1.2019 15:00	3,73		3,31	0,42														
2.1.2019 15:00	2.1.2019 16:00	3,47		3,05	0,42														
2.1.2019 16:00	2.1.2019 17:00	6,75		6,33	0,42														
2.1.2019 17:00	2.1.2019 18:00	10,24		9,82	0,42														
2.1.2019 18:00	2.1.2019 19:00	8,02		7,60	0,42														
2.1.2019 19:00	2.1.2019 20:00	4,8		4,80															
2.1.2019 20:00	2.1.2019 21:00	5,2		5,20															
2.1.2019 21:00	2.1.2019 22:00	7,99		7,99															
2.1.2019 22:00	2.1.2019 23:00	15,27		15,27															
2.1.2019 23:00	3.1.2019 0:00	12,55		12,55															
3.1.2019 0:00	3.1.2019 1:00	8,91		8,91															
3.1.2019 1:00	3.1.2019 2:00	3,35		3,35															
3.1.2019 2:00	3.1.2019 3:00	3,07		3,07															
3.1.2019 3:00	3.1.2019 4:00	2,7		2,7															
3.1.2019 4:00	3.1.2019 5:00	3,22		3,22															
3.1.2019 5:00	3.1.2019 6:00	7,76		7,76															
3.1.2019 6:00	3.1.2019 7:00	11,36		11,36															
3.1.2019 7:00	3.1.2019 8:00	8,04		8,04															
3.1.2019 8:00	3.1.2019 9:00	3,1		3,10															
3.1.2019 9:00	3.1.2019 10:00	5,29		4,87	0,42														
3.1.2019 10:00	3.1.2019 11:00	4,33		3,91	0,42														
3.1.2019 11:00	3.1.2019 12:00	6,09		5,67	0,42														
3.1.2019 12:00	3.1.2019 13:00	6,03		5,61	0,42														
3.1.2019 13:00	3.1.2019 14:00	3,8		3,38	0,42														
3.1.2019 14:00	3.1.2019 15:00	3,69		3,27	0,42														
3.1.2019 15:00	3.1.2019 16:00	5,45		5,03	0,42														
3.1.2019 16:00	3.1.2019 17:00	9,37		8,95	0,42														
3.1.2019 17:00	3.1.2019 18:00	10,31		9,89	0,42														
3.1.2019 18:00	3.1.2019 19:00	9,45		9,03	0,42														
3.1.2019 19:00	3.1.2019 20:00	10,8		10,80															
3.1.2019 20:00	3.1.2019 21:00	7,91		7,91															
3.1.2019 21:00	3.1.2019 22:00	7,89		7,89															
3.1.2019 22:00	3.1.2019 23:00	12,52		12,52															
3.1.2019 23:00	4.1.2019 0:00	13,06		13,06															
4.1.2019 0:00	4.1.2019 1:00	9,86		9,86															
4.1.2019 1:00	4.1.2019 2:00	6,1		6,1															
4.1.2019 2:00	4.1.2019 3:00	2,46		2,46															
4.1.2019 3:00	4.1.2019 4:00	3,47		3,47															
4.1.2019 4:00	4.1.2019 5:00	3,01		3,01															
4.1.2019 5:00	4.1.2019 6:00	5,73		5,73															
4.1.2019 6:00	4.1.2019 7:00	10,91		10,91															
4.1.2019 7:00	4.1.2019 8:00	7,41		7,41															
4.1.2019 8:00	4.1.2019 9:00	3,3		3,30															
4.1.2019 9:00	4.1.2019 10:00	4,23		3,81	0,42														



10,26 kWp + 14 kWh			AC/DC - muunnos hyötysuhde			95 %															
			Aurinkosähkön teho kWp			10,26															
Todellinen kulutus vuonna 2019			kWh			kWh			kWh			AKKUVARASTON									
Aikaan	Saakka	TUNTIKOKITAINEN SÄHKÖKULUTUS	OSTETTU ENERGIA	YÖ	PÄIVÄ	TUOTANTO	MYNTI	VARAUS	Kulutuskausi	Ostettu energia (kWh)	Yö	Päivä	Tuotanto/kk	Myynti/kWh	Aurinkosähkö (kWh)	Hinta kto B-11 €/kWh	Myyntin sirtto	Tuotto €/kWh			
1.1.2019 0:00	1.1.2019 1:00	1,93	15,5			13,57		13,57	Tammikuu	2673,49	2816,92		128,6864	0	0,00088		0,00	0,00			
1.1.2019 1:00	1.1.2019 2:00	7,35	7,35			13,57		13,57	Helmikuu	2167,82	1851,92		329,1408	0	0,00088		0,59	0,59			
1.1.2019 2:00	1.1.2019 3:00	7,34	7,34			13,57		13,57	Huhtikuu	1519,13	389,45		996,6564	134	0,0496	0,00088	6,20	6,20			
1.1.2019 3:00	1.1.2019 4:00	2,68	2,68			13,57		13,57	Toukokuu	827,86	162,38		1294,5042	385,5	0,0561	0,00088	20,24	20,24			
1.1.2019 4:00	1.1.2019 5:00	1,32	1,32			13,57		13,57	Kesäkuu	200,66	84,62		1261,5696	498,5	0,0471	0,00088	21,90	21,90			
1.1.2019 5:00	1.1.2019 6:00	1,61	1,61			13,57		13,57	Heinäkuu	134,31	71,97		1311,4852	497	0,0544	0,00088	25,29	25,29			
1.1.2019 6:00	1.1.2019 7:00	3,64	3,64			13,57		13,57	Elokuu	400,23	168,47		1084,2768	232	0,0593	0,00088	12,87	12,87			
1.1.2019 7:00	1.1.2019 8:00	3,18		0,00		10,39		10,39	Syyskuu	1277	406,09		743,4396	30,5	0,0631	0,00088	1,80	1,80			
1.1.2019 8:00	1.1.2019 9:00	1,92	0,00	0,00		8,47		8,47	Lokakuu	2079,4	1399,62		455,5454	1	0,0551	0,00088	0,05	0,05			
1.1.2019 9:00	1.1.2019 10:00	1,78	0,00	0,42		7,13		7,13	Marraskuu	2238,22	2379,6		129,8916	0	0,00088	0,00	0,00	0,00			
1.1.2019 10:00	1.1.2019 11:00	5,26	5,26	0,42		7,53		7,53	Joulukuu	2243,56	2730,8		74,2824	0	0,00088	0,00	0,00	0,00			
1.1.2019 11:00	1.1.2019 12:00	5,93	5,93	0,42		7,95		7,95	<b>Yhteensä</b>	<b>18154,26</b>	<b>13743,36</b>	<b>8631,225</b>	<b>1792,5</b>	<b>0,00088</b>	<b>79 %</b>		<b>88,94</b>	<b>88,94</b>			
1.1.2019 12:00	1.1.2019 13:00	1,91	1,91	0,42		8,36		8,36													
1.1.2019 13:00	1.1.2019 14:00	1,71	1,71	0,42		8,78		8,78													
1.1.2019 14:00	1.1.2019 15:00	2,21	2,21	0,42		9,20		9,20													
1.1.2019 15:00	1.1.2019 16:00	2,53	2,53	0,42		9,62		9,62													
1.1.2019 16:00	1.1.2019 17:00	5,25	5,25	0,42		10,04		10,04													
1.1.2019 17:00	1.1.2019 18:00	6,49	6,49	0,00	0,42	3,99		3,99													
1.1.2019 18:00	1.1.2019 19:00	6,99	6,99	0,42		0,00		0,00													
1.1.2019 19:00	1.1.2019 20:00	5,04	5,04	0,00		0,00		0,00													
1.1.2019 20:00	1.1.2019 21:00	1,92	1,92			0,00		0,00													
1.1.2019 21:00	1.1.2019 22:00	1,48	15			13,52		13,52													
1.1.2019 22:00	1.1.2019 23:00	5,1	5,5			13,92		13,92													
1.1.2019 23:00	2.1.2019 0:00	1,97	1,97			13,92		13,92													
2.1.2019 0:00	2.1.2019 1:00	2,35	2,35			13,92		13,92													
2.1.2019 1:00	2.1.2019 2:00	2,97	2,97			13,92		13,92													
2.1.2019 2:00	2.1.2019 3:00	7,03	7,03			13,92		13,92													
2.1.2019 3:00	2.1.2019 4:00	6,66	6,66			13,92		13,92													
2.1.2019 4:00	2.1.2019 5:00	2,52	2,52			13,92		13,92													
2.1.2019 5:00	2.1.2019 6:00	1,74	1,74			13,92		13,92													
2.1.2019 6:00	2.1.2019 7:00	5,07	5,07			13,92		13,92													
2.1.2019 7:00	2.1.2019 8:00	5,54		0,00		8,38		8,38													
2.1.2019 8:00	2.1.2019 9:00	2,97		0,00		5,43		5,43													
2.1.2019 9:00	2.1.2019 10:00	3,95		0,00	0,42	1,88		1,88													
2.1.2019 10:00	2.1.2019 11:00	3,35		3,35	0,42	2,30		2,30													
2.1.2019 11:00	2.1.2019 12:00	4,40		4,40	0,42	2,72		2,72													
2.1.2019 12:00	2.1.2019 13:00	4,78		4,78	0,42	3,14		3,14													
2.1.2019 13:00	2.1.2019 14:00	2,1		2,10	0,42	3,56		3,56													
2.1.2019 14:00	2.1.2019 15:00	3,73		3,73	0,42	3,97		3,97													
2.1.2019 15:00	2.1.2019 16:00	3,47		3,47	0,42	4,39		4,39													
2.1.2019 16:00	2.1.2019 17:00	6,75		6,75	0,42	4,81		4,81													
2.1.2019 17:00	2.1.2019 18:00	14,24		14,24	0,42	5,23		5,23													
2.1.2019 18:00	2.1.2019 19:00	8,02		8,02	0,42	5,65		5,65													
2.1.2019 19:00	2.1.2019 20:00	4,8		0,00	0,85	1,27		1,27													
2.1.2019 20:00	2.1.2019 21:00	5,2		5,20	0,85	1,69		1,69													
2.1.2019 21:00	2.1.2019 22:00	7,99		7,99	0,85	2,58		2,58													
2.1.2019 22:00	2.1.2019 23:00	15,27		15,27	17	7,03		7,03													
2.1.2019 23:00	3.1.2019 0:00	12,55		12,55	17	7,03		7,03													
3.1.2019 0:00	3.1.2019 1:00	8,91	15,5			13,62		13,62													
3.1.2019 1:00	3.1.2019 2:00	3,35	3,35			13,62		13,62													
3.1.2019 2:00	3.1.2019 3:00	3,07	3,07			13,62		13,62													
3.1.2019 3:00	3.1.2019 4:00	2,7	2,7			13,62		13,62													
3.1.2019 4:00	3.1.2019 5:00	3,22	3,22			13,62		13,62													
3.1.2019 5:00	3.1.2019 6:00	7,76	7,76			13,62		13,62													
3.1.2019 6:00	3.1.2019 7:00	11,36	11,36			13,62		13,62													
3.1.2019 7:00	3.1.2019 8:00	8,04		0,00		5,58		5,58													
3.1.2019 8:00	3.1.2019 9:00	3,1		0,00		2,48		2,48													
3.1.2019 9:00	3.1.2019 10:00	5,29		3,00	0,42	0,63		0,63													
3.1.2019 10:00	3.1.2019 11:00	4,33		4,33	0,42	1,05		1,05													
3.1.2019 11:00	3.1.2019 12:00	6,09		6,09	0,42	1,44		1,44													
3.1.2019 12:00	3.1.2019 13:00	6,03		6,03	0,42	1,86		1,86													
3.1.2019 13:00	3.1.2019 14:00	3,8		3,80	0,42	2,28		2,28													
3.1.2019 14:00	3.1.2019 15:00	3,69		3,69	0,42	2,70		2,70													
3.1.2019 15:00	3.1.2019 16:00	5,45		5,45	0,42	3,12		3,12													
3.1.2019 16:00	3.1.2019 17:00	9,37		9,37	0,42	3,53		3,53													
3.1.2019 17:00	3.1.2019 18:00	10,31		10,31	0,42	3,95		3,95													
3.1.2019 18:00	3.1.2019 19:00	9,45		9,45	0,42	4,37		4,37													
3.1.2019 19:00	3.1.2019 20:00	10,8		6,50	0,07	0,07		0,07													
3.1.2019 20:00	3.1.2019 21:00	7,91		7,91	0,07	0,07		0,07													
3.1.2019 21:00	3.1.2019 22:00	7,89		7,89	0,07	0,07		0,07													
3.1.2019 22:00	3.1.2019 23:00	12,52		12,52	17	7,03		7,03													
3.1.2019 23:00	4.1.2019 0:00	13,06	17			8,49		8,49													
4.1.2019 0:00	4.1.2019 1:00	9,86	15			13,63		13,63													
4.1.2019 1:00	4.1.2019 2:00	6,1	6,1			13,63		13,63													
4.1.2019 2:00	4.1.2019 3:00	2,46	2,46			13,63		13,63													
4.1.2019 3:00	4.1.2019 4:00	3,47	3,47			13,63		13,63													
4.1.2019 4:00	4.1.2019 5:00	3,01	3,01			13,63		13,63													
4.1.2019 5:00	4.1.2019 6:00	5,73	5,73			13,63		13,63													
4.1.2019 6:00	4.1.2019 7:00	10,91	10,91			13,63		13,63													
4.1.2019 7:00	4.1.2019 8:00	7,41		0,00		6,22		6,22													
4.1.2019 8:00	4.1.2019 9:00	3,3		0,00		2,92		2,92													
4.1.2019 9:00	4.1.2019 10:00	4,23		0,00	0,42	1,11		1,11													
4.1.2019 10:00	4.1.2019 11:00	5,56		5,56	0,42	1,53		1,53													
4.1.2019 11:00	4.1.2019 12:00	10,04		10,04	0,42	1,95		1,95													
4.1.2019 12:00	4.1.2019 13:00	6,07		6,07	0,42	2,36		2,36													
4.1.2019 13:00	4.1.2019 14:00	2,68		2,68	0,42	2,78		2,78													
4.1.2019 14:00	4.1.2019 15:00	4,32		4,32	0,42	3,20		3,20													
4.1.2019 15:00	4.1.2019 16:00	6		6,00	0,42	3,62		3,62													
4.1.2019 16:00	4.1.2019 17:00	10,08		10,08	0,42	4,04		4,04													
4.1.2019 17:00	4.1.2019 18:00	9,39		9,39	0,42	4,46		4,46													
4.1.2019 18:00	4.1.2019 19:00	3,3		0,00	0,42	1,57		1,57													
4.1.2019 19:00	4.1.2019 20:00	1,67		0,50	0,40	0,40		0,40													
4.1.2019 20:00	4.1.2019 21:00	1,67		1,67	0,40	0,40		0,40													
4.1.2019 21:00	4.1.2019 22:00	4,63		4,63	0,40	0,40		0,40													
4.1.2019 22:00	4.1.2019 23:00	11,25		11,25	17	6,15		6,15													
5.1.2019 0:00	5.1.2019 0:00	9,48		9,48	17	13,67		13,67													
5.1.2019 0:00	5.1.2019 1:00	6,35	6,5			13,82		13,82													
5.1.2019 1:00	5.1.2019 2:00	2,42	2,42			13,82		13,82													